PARIS. — IMPRIMERIE ARNOUS DE RIVIÈRE, RUE RACINE, 26.

LES NOUVELLES

MACHINES MARINES

SUPPLÉMENT AU TRAITÉ

DES

APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION

MIS EN HARMONIE

AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

PAR A. LEDIEU, O*, O✪, *,

ANCIEN OFFICIER DE VAISSEAU, EXAMINATEUR DE LA MARINE,
PRIX EXTRAORDINAIRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES POUR L'APPLICATION
DE LA VAPEUR A LA FLOTTE,
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT,

ET H. HUBAC, *, ✪,

MÉCANICIEN PRINCIPAL DE PREMIÈRE CLASSE, PROFESSEUR DE MACHINES A VAPEUR
SUR LE VAISSEAU ÉCOLE.

OUVRAGE RÉDIGÉ

POUR LA PARTIE PRATIQUE AVEC LE CONCOURS DE Mr

GILBERT, *, premier-maître mécanicien, adjoint à l'enseignement des machines à vapeur
sur le Vaisseau-École.

ENRICHI DE NOMBREUSES GRAVURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

AVEC ATLAS

CONTENANT

DIX BELLES PLANCHES, où figurent les principaux types actuels d'appareils à vapeur de navigation ordinaires et Compound; leurs organes detaillés, les nouveaux systèmes de chaudières marines, de nombreuses courbes de régulation, d'indicateur et autres;

ET NEUF GRANDS TABLEAUX, donnant tous les éléments des coques et des machines des différentes espèces de navires de guerre actuels français et étrangers; la régulation, les essais, et les proportions des propulseurs et des générateurs d'un grand nombre de bâtiments à hélice de toutes catégories, munis de machines ordinaires ou Compound.

TOME II

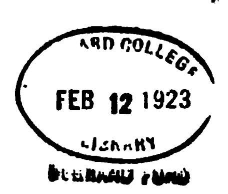
PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

Quai des Augustins, 49.

1879


ARD COLLEGE
FEB 12 1923
LIBRARY

LES

NOUVELLES MACHINES

MARINES

CHAPITRE II.

PRINCIPAUX TYPES D'APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION CONSTRUITS DEPUIS 1862.

CHAP. II, § 1er. — Considérations générales sur les améliorations apportées aux machines marines depuis 1862.

N° 20. — 1. Conditions générales de toute bonne machine marine. — 2. Choix des éléments aptes à réaliser les conditions précédentes. — 3. Choix du propulseur. — 4. Types généraux et mode de fonctionnement des machines marines de guerre vers 1862. — 5. Types généraux et mode de fonctionnement des machines marines de commerce vers 1862.

N° 20$_1$ Conditions générales de toute bonne machine marine. — Envisagées sous leurs traits généraux, les machines marines doivent satisfaire aux conditions suivantes :

POUR L'APPAREIL MÉCANIQUE.

I Faible dépense de charbon par heure et par cheval indiqué de 75km sur les pistons.

II Fractionnement de l'appareil moteur en groupes de machines distinctes, munies de tous leurs organes et pouvant fonctionner isolément.

III Séparation des condenseurs et des cylindres, et application sur ces derniers de chemises de vapeur et d'enveloppes isolantes.
IV Pompes de circulation indépendantes de l'appareil moteur.
V Aboutissement au condenseur des purges des cylindres et de leurs chemises, ainsi que des tuyaux de section convenable, permettant de se débarrasser de l'excès de vapeur aux chaudières pendant les arrêts. Installation d'une petite pompe à air supplémentaire et indépendante, destinée à renvoyer, pendant les temps d'arrêt, l'eau du condenseur dans la bâche à eau douce.
VI Minimum de poids et d'encombrement pour une puissance donnée.
VII Sécurité de fonctionnement.
VIII Facilité de surveillance en marche, et facilités de visite et de démontage.
IX Manœuvre sûre et prompte.
X Installation dans les presse-étoupe des tiges, quand elles communiquent avec le vide, d'une poussée de vapeur ou d'eau suivant le cas, interposée entre deux garnitures d'étoupe.
XI Installation de freins de sûreté sur tous les appareils de serrage des articulations ou des organes mobiles.
XII Installation bien entendue des appareils de graissage et d'arrosage.
XIII Pompes alimentaires, une par machine complète, et d'un volume tel que la moitié de ces appareils suffise à l'alimentation des chaudières pendant la marche à toute puissance.
XIV Pompes de cale, une par machine complète, et d'un volume égal à celui de la pompe alimentaire.

POUR L'APPAREIL ÉVAPORATOIRE.

XV Fractionnement de l'appareil évaporatoire en plusieurs corps, chacun d'eux étant muni de tous les organes nécessaires pour qu'il puisse fonctionner seul.
XVI Minimum de poids et d'encombrement pour une puissance vaporisatrice donnée.
XVII Maximum d'utilisation du combustible.
XVIII Sécurité de fonctionnement.
XIX Facilités de surveillance et de nettoyage.
XX Machine alimentaire auxiliaire, destinée à fonctionner pendant les arrêts, et ayant une aspiration à la bâche à eau douce.
XXI Application d'enveloppes isolantes sur les chaudières et sur les tuyaux de vapeur.
XXII Facilités de transport du combustible et de l'enlèvement des escarbilles.

POUR L'ENSEMBLE DE L'APPAREIL.

XXIII Tuyautage aussi simple que possible et avec le minimum d'aboutissants à la coque du navire.

XXIV Installation de soupapes ou de robinets de sûreté aux prises d'eau, et de soupapes de retenue aux tuyaux de refoulement.
XXV Bon aérage.

Les conditions secondaires, énumérées ci-dessus, sont réalisables quel que soit le genre de la machine; mais les conditions principales, telles que celles qui sont relatives au minimum de dépense de charbon, au minimum d'encombrement et de poids, à la séparation des condenseurs et des cylindres, aux facilités d'accès en marche, de visite et de démontage, etc., ne peuvent jamais, en pratique, être pleinement réalisées toutes à la fois. On est obligé de sacrifier un peu sur chacune d'elles pour arriver à un ensemble satisfaisant. Les difficultés que l'on rencontre proviennent surtout de ce que l'espace réservé à la machine dans le bâtiment, est toujours fort restreint.

N° 20_2 Choix des éléments aptes à réaliser les conditions précédentes. — Pour la réalisation des conditions énumérées au numéro précédent, il devra être tenu compte des considérations suivantes :

APPAREIL MÉCANIQUE.

Condition I. Il est acquis aujourd'hui, que l'économie de combustible ne peut être obtenue qu'en faisant travailler la vapeur avec une expansion notable. Or, pour bénéficier de la détente, il faut une pression élevée aux chaudières, 5 atmosphères au moins, ce qui, eu égard à la présence du sulfate de chaux dans l'eau de mer (n° 170 du *Grand Traité*), exige l'emploi des condenseurs à surface. Ces 5 atmosphères de pression absolue sont d'ailleurs suffisantes, car elles permettent un degré de détente de 5 à 6, la pression au moment de l'évacuation étant encore supérieure à celle du condenseur : au delà, le rendement calorifique augmente très-peu (n° 6_1), tandis que les chances d'avaries aux chaudières et les difficultés de conduite de l'appareil évaporatoire sont notablement accrues; d'autre part, le graissage devient presque impossible à moins qu'on n'emploie de la vapeur très-humide, ce qui est une très-mauvaise condition de fonctionnement (n° 7_8). Enfin, il n'y aurait avantage à élever la pression que pour augmenter notablement le degré de détente, mais il en résulterait un accroissement considérable d'encombrement et de poids qu'il faut concilier avec l'économie de combustible.

Condition II. En raison de la puissance considérable des appa-

reils marins, le fractionnement en groupes de machines est indispensable, tant au point de vue de la solidité des divers organes qu'au point de vue des facilités de construction et de démontage. Ce fractionnement facilite d'ailleurs la mise en marche. La condition que les divers groupes de machines puissent fonctionner isolément, est très-importante au point de vue des avaries qui peuvent survenir, afin que l'appareil moteur tout entier ne soit pas paralysé par la rupture d'une seule pièce. A ce point de vue, chaque cylindre détendeur doit être nanti d'un condenseur muni de tous ses organes.

Condition III. Les cylindres doivent, autant que possible, être isolés des condenseurs, afin d'éviter les pertes de chaleur occasionnées par le contact de ces deux récipients. Cette condition est déjà réalisée depuis longtemps dans les machines marines horizontales. Quand les condenseurs font partie des bâtis qui supportent les cylindres, il faut interposer dans les joints, des corps mauvais conducteurs de la chaleur; une épaisseur de bois de teack, par exemple.

En raison de ce qui a été expliqué au n° 8_6, tous les cylindres doivent être munis de chemises de vapeur, et on doit introduire également de la vapeur dans les doubles fonds des couvercles. Le fluide réchauffant des chemises ne doit pas être appelé à travailler dans les cylindres. — D'autre part, afin d'éviter les refroidissements extérieurs, les cylindres doivent être entourés d'enveloppes isolantes. Ces enveloppes doivent s'étendre sur les boîtes à tiroir, les organes de détente et les tuyaux de vapeur.

Condition IV. Les pompes de circulation doivent être indépendantes de l'appareil moteur, afin que l'on soit toujours maître de proportionner le courant d'eau de circulation à la quantité de vapeur dépensée. Cette indépendance des pompes de circulation permet en outre, de tenir le condenseur froid pendant les arrêts, ce qui facilite la mise en marche et permet de réaliser la condition V ci-après.

Condition V. En raison de la pression élevée, les chaudières doivent être alimentées à l'eau douce, et par suite les machines doivent fonctionner avec la condensation par surface. Il importe dès lors de perdre le moins possible d'eau douce. Dans ce but, les purges des cylindres et de leurs chemises doivent aboutir aux condenseurs. D'autre part, il est nécessaire d'établir une communication directe entre le tuyau d'arrivée de vapeur aux cylindres et les condenseurs,

afin d'évacuer, pendant les arrêts, l'excédant de vapeur qui sort d'habitude par les soupapes de sûreté. Cette installation joint à l'avantage de ne pas perdre d'eau douce, celle de débarrasser le commandant du navire du bruit toujours fort gênant, qui provient de la sortie de la vapeur par les tuyaux d'échappement. Mais si l'on reste quelque temps stoppé, le condenseur se remplit, et il est nécessaire d'avoir une petite pompe à air auxiliaire, mue par une petite machine, pour faire passer l'eau douce du condenseur dans la bâche, où puise le petit cheval pour alimenter les chaudières.

Conditions VI, VII et VIII. L'augmentation progressive du tonnage des navires de guerre, pour porter des cuirasses de plus en plus lourdes, et de celui des navires de commerce, pour augmenter la capacité disponible pour le fret, ont naturellement conduit à construire des machines de plus en plus puissantes et par suite de plus en plus encombrantes. Cet encombrement a encore été augmenté par suite de la multiplicité des cylindres qu'exigent les machines Woolf, presque exclusivement employées aujourd'hui. Il faut concilier la condition de poids et d'encombrement minimum, avec la sécurité de fonctionnement et les facilités de surveillance et de démontage.

En principe, les dimensions des organes de la transmission de mouvement et celles des diverses pièces d'appui, doivent être déterminées comme si la machine devait fonctionner avec la détente simple dans le cylindre détendeur. Dès lors, à égalité de détente, les machines ordinaires doivent être moins lourdes et moins encombrantes que les machines Woolf, puisqu'elles ont de moins que ces dernières les cylindres admetteurs et tous leurs organes. Mais comme les machines Woolf permettent de marcher avec un degré de détente plus élevé, la puissance des chaudières peut être diminuée, et il en est de même de leur poids et de leur encombrement. On gagne ainsi sur l'appareil évaporatoire ce que l'on perd sur l'appareil moteur; et, somme toute, prises dans leur ensemble, les machines Woolf ne sont ni plus lourdes ni plus encombrantes que les machines ordinaires (n° 21_4).

Le système Woolf est encore préférable au point de vue de la sécurité du fonctionnement. Dans ces machines, l'écart entre l'effort maximum et l'effort minimum transmis par les tiges de piston est beaucoup moindre que dans une machine ordinaire (n° 14_4) ; il en résulte une fatigue moins grande pour tout l'appareil, plus de régularité du couple de rotation (n° 71_2), et par suite une diminution considérable des vibrations

et des chocs qu'occasionnent toujours les variations de la vitesse de l'arbre.

Les conditions de facilité de surveillance en marche et des facilités de visite et de démontage pendant les arrêts, sont très-souvent sacrifiées, et cela bien à tort. Comme généralement la machine est faite pour le navire, la place réservée à l'appareil moteur est toujours restreinte. Il est cependant très-important que la machine soit bien dégagée et accessible, même en marche, dans toutes ses parties; la surveillance est alors plus efficace, ce qui permet de prévenir bien des avaries. D'un autre côté, il faut éviter dans la construction, les pièces lourdes, difficiles à manœuvrer, et fractionner autant que possible les divers organes afin de rendre les démontages faciles. Les visites peuvent alors être plus fréquentes, et la machine en bénéficie par un meilleur état d'entretien.

Aux trois points de vue que nous venons de considérer, les machines Woolf du type à pilon à trois paires de cylindres bout à bout, points morts à 120°, sont celles qui conviennent le mieux, surtout pour les grandes vitesses. Tous les organes sont, en effet, plus à découvert et beaucoup plus accessibles que dans les machines horizontales; les démontages sont plus faciles, et l'usure des cylindres est moindre puisque ces organes ne supportent pas le poids des pistons. Enfin, les efforts de réaction que supportent les assises de la machine, fatiguent beaucoup moins la charpente du bâtiment, puisque ces réactions agissent verticalement. Le seul inconvénient des machines à pilon, surtout avec le système Woolf à cylindres bout à bout, est d'exiger beaucoup de place en hauteur. Cet inconvénient a fait préférer, jusqu'à présent, les machines horizontales pour les bâtiments de guerre cuirassés, parce que ces dernières machines sont mieux à l'abri. Toutefois, sur les grands bâtiments, il existe une hauteur plus que suffisante pour loger la machine au-dessous du réduit central, et il n'est pas douteux que le genre à pilon ne devienne sous peu le prototype des machines des bâtiments de guerre.

Sur les bâtiments de commerce, le type à pilon est surtout avantageux parce qu'il exige beaucoup moins de place en largeur que le type horizontal, et peut être monté beaucoup plus près de l'arrière, laissant ainsi disponible pour le chargement la partie la plus large du bâtiment

Condition IX. La condition que la manœuvre soit sûre et prompte est indispensable à réaliser, surtout pour un bâtiment de guerre.

Avec les appareils puissants, il ne faut plus songer à manœuvrer à bras les mécanismes de renversement de marche, et l'usage des moteurs à vapeur (n° 34_6) est indispensable. La mise en train à secteur est presque la seule employée dans les nouvelles machines. Ce système de mise en train a sur tous les autres, l'avantage de pouvoir être manœuvré avec sécurité, même quand la machine se met accidentellement en mouvement pendant la manœuvre. Le changement de distribution de vapeur s'effectue facilement et rapidement à l'aide de moteurs auxiliaires, munis le plus souvent d'un servo-moteur (n° 34_6). — Pour les machines ordinaires, le changement de position de la mise en train est l'opération qui prend le plus de temps, car ces machines partent facilement en ouvrant les registres de vapeur dès que ce changement est effectué. Il n'en est pas toujours de même pour les machines Woolf, qui exigent l'introduction directe dans les cylindres détendeurs, et encore existe-t-il parfois des points de la rotation de l'arbre pour lesquels la machine part difficilement, ou même ne part pas du tout (n° 34_7). Cela tient à ce que pour ces positions de l'arbre, la vapeur introduite directement dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, agit à contre-sens et avec un grand bras de levier, dans le cylindre admetteur, par l'évacuation de ce cylindre. On peut éviter cet inconvénient en introduisant dans les orifices mêmes du cylindre détendeur, au moyen d'un tiroir ou d'un robinet, au lieu d'introduire dans la boîte à tiroir. Mais le moyen le plus efficace consiste d'abord à ne pas avoir une détente prolongée dans le cylindre détendeur, et ensuite à annuler le cylindre admetteur en mettant ses deux extrémités en communication, pendant que l'on introduit directement dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur.

Condition X. L'installation de doubles presse-étoupe pour les tiges de piston et les tiges de pompe à air, avec pression de vapeur pour les premières et d'eau pour les secondes, est indispensable. C'est le seul moyen d'éviter les rentrées d'air qui augmentent la contre-pression dans les cylindres, et nuisent au bon fonctionnement des pompes à air. La vapeur exerçant la pression dans les presse-étoupe des tiges de piston, peut être prise dans la boîte à tiroir ou dans la chemise du cylindre. L'eau exerçant la pression dans les presse-étoupe des tiges de pompe à air, doit être prise dans le courant de la circulation de l'eau froide, côté du refoulement.

Condition XI. Tous les écrous des boulons de serrage des pièces mobiles doivent être munis de freins qui les maintiennent fixes, afin

qu'il ne puisse se produire, sous l'influence des vibrations, ni serrage ni desserrage. Cette installation est surtout importante pour les tiges de piston et les boulons de couronne, les pieds et les têtes de bielle. Pour les écrous des boulons de serrage des articulations, le frein le plus commode est celui à rochet. Pour les tiges de piston, une clavette ajustée à queue d'aronde, mi-partie dans le bout de la tige et mi-partie dans l'écrou, est le frein le plus efficace.

Condition XII. Le graissage est une des parties les plus importantes de la bonne conduite des machines, et son installation mérite toute la sollicitude du constructeur. Avec les condenseurs à surface, les organes de distribution et les cylindres se graissent à l'huile, et il est avantageux d'effectuer ce graissage par le tuyau de vapeur et d'une manière continue. Malheureusement les appareils les plus perfectionnés (n° 53_4) destinés à cet usage, n'ont pas encore donné des résultats satisfaisants; le graissage est ou insuffisant ou trop abondant. Le seul système qui paraîtrait pouvoir réaliser les conditions d'un graissage continu, en rapport avec la vitesse de la machine, serait un appareil mécanique à pompe, mû par la machine elle-même, avec faculté de régler le graissage par l'obturation plus ou moins complète du tuyau de refoulement. Cette pompe serait par suite munie d'un clapet de trop-plein. Le réservoir d'huile doit être muni d'un niveau gradué pour contrôler la dépense. — Pour les articulations, le système de godets employés doit permettre de faire varier à volonté, et suivant le besoin, la quantité d'huile dépensée. Le système dit *compte-gouttes* est celui qui paraît devoir donner les meilleurs résultats. Les godets doivent, d'ailleurs, être facilement accessibles, et à l'abri de l'introduction accidentelle de toute impureté dans l'intérieur. — Pour les grandes articulations, telles que paliers d'arbre de couche, pieds et têtes de bielle, les réservoirs à suif sur les joues constituent une bonne installation qui facilite la surveillance, en prévenant du commencement d'un échauffement.

Conditions XIII *et* XIV. L'alimentation des chaudières doit être largement assurée par la moitié du nombre des pompes alimentaires que conduit la machine. La réalisation de cette condition est nécessaire en vue du fonctionnement imparfait de ces pompes, ou de l'avarie de l'une d'elles. D'autre part, la machine elle-même peut être avariée, et il faut que chacune des parties de l'appareil moteur qui peuvent fonctionner isolément soit munie de sa pompe alimentaire. On ne pourrait faire exception à cette règle que si toutes

les pompes alimentaires étaient conduites par l'arbre de couche.

D'autre part, les pompes de cale, conduites par la machine, sont généralement en même nombre que les pompes alimentaires et ont un égal volume. Elles doivent être disposées comme ces dernières, une par machine pouvant fonctionner isolément.

Condition XV. A moins qu'il ne s'agisse de petites machines, l'appareil évaporatoire doit être fractionné en corps distincts et munis de tous leurs organes accessoires, de manière à pouvoir fonctionner seuls, ou à pouvoir être isolés promptement en cas d'avarie. A dernier point de vue, l'installation des soupapes d'arrêt mérite plus sérieuse attention, car le plus souvent, ces soupapes sont inabordables dès que la chaufferie est envahie par la vapeur. Le fractionnement de l'appareil évaporatoire est d'ailleurs rendu indispensable par l'impossibilité de construire des chaudières de très-grandes dimensions, et suffisamment résistantes sans exagérer l'épaisseur du métal. La puissance de chaque corps de chaudière ne doit pas dépasser 400^{ch} de 75^{km}.

Condition XVI. Les chaudières, comme les machines, doivent être réduites de poids et d'encombrement. Les chaudières à faces planes étant mises de côté, à cause de la pression élevée qu'exigent les machines actuelles, les appareils avec eau dans les tubes (n° 59_8 et 61) sont ceux qui satisfont le mieux à ces conditions, parce qu'ils suppriment les grands réservoirs d'eau.

Condition XVII. Ce sont encore les chaudières avec eau dans les tubes qui réalisent le mieux la condition de maximum d'utilisation du combustible, parce que le parcours des gaz chauds frappe les surfaces de chauffe, au lieu de les lécher simplement, comme dans les chaudières tubulaires ordinaires. Toutefois, pour que la combustion se fasse bien, il faut que le foyer soit suffisamment en contre-bas de l'appareil tubulaire; et, d'autre part, pour que les gaz ne sortent pas à une trop haute température, il faut que ces gaz ne puissent pas s'élever directement du foyer vers la cheminée.

Condition XVIII. La sécurité de fonctionnement doit être assurée par une épaisseur de métal en rapport avec la pression de régime, et surtout par de très-grandes facilités données à la circulation de l'eau. Les dangers d'explosion sont moins grands avec les chaudières dont les tubes renferment l'eau, qu'avec les chaudières ordinaires; toutefois, jusqu'à ce jour, les accidents ont été relativement plus nombreux avec les premiers appareils qu'avec les seconds, et plusieurs,

parmi ces derniers, ont été mis de côté à la suite de la rupture fréquente des tubes. Cela tenait surtout au défaut de circulation de l'eau, cette dernière n'étant pas renouvelée assez tôt dans les tubes où la vaporisation était la plus active. — Au point de vue des variations de pression et des ébullitions ou des projections d'eau qui peuvent en résulter, il importe que le réservoir de vapeur soit volumineux. Sa présence n'ajoute que peu de chose au danger, en cas d'explosion ou de déchirement, car le poids de la vapeur qu'il renferme est toujours faible, comparativement au poids de celle qui se dégage de l'eau.

Condition XIX. Tous les organes accessoires des chaudières, tels que tubes de niveau, robinets-jauges, robinets d'alimentation, etc., doivent être installés avec le plus grand soin et à la portée des mécaniciens. — Les dispositions générales des chaudières doivent être faites en vue de faciliter les démontages pour les visites intérieures, afin que ces visites puissent être fréquentes et par suite efficaces.

Condition XX. Un appareil à vapeur d'alimentation avec tuyautage distinct, est nécessaire pour alimenter pendant les temps d'arrêt et suppléer au besoin les pompes alimentaires de la machine. On emploie beaucoup aujourd'hui, concuremment avec les petits chevaux ordinaires (n° 63_8 et n° 163_2 du *Grand Traité*), les machines rotatives Behrens (n° 64_4) qui donnent beaucoup moins de secousses au tuyautage. L'aspiration est double : l'une se fait à la mer, et l'autre dans la bâche à eau douce.

Condition XXI. Les chaudières et les tuyaux de vapeur doivent toujours être recouverts d'une enveloppe isolante, et autant que possible incombustible, afin d'éviter les pertes de chaleur dues au rayonnement et au contact de la tôle avec l'air froid fréquemment renouvelé.

Condition XXII. La bonne utilisation du combustible exige, outre l'aération convenable de la chaufferie, que l'accès des soutes soit facile, et que le charbon puisse être amené rapidement sur le parquet de chauffe. Par la réalisation de cette condition, les parquets sont toujours dégagés, les chauffeurs ne sont pas exposés à mélanger les cendres et le mâchefer avec le charbon, et la conduite des feux est plus facile. Les chemins de fer aériens qui avaient été installés sur quelques bâtiments de la flotte, ont été abandonnés parce qu'ils fontionnaient mal à la mer; et la condition qui nous occupe ne pourrait être pleinement réalisée qu'en installant les chaufferies longitu-

dinales sur les ailes, avec soutes ou conduits de charbon en abord, et alors avec autant de débouchés que l'on voudrait. Mais il faudrait naturellement renoncer aux longueurs démesurées des grilles actuellement employées, quitte à élargir le fourneau ou à augmenter le nombre des corps de chaudières. — Les facilités d'enlèvement des cendres et des mâchefers permettent de toujours tenir les cendriers propres, ce qui contribue notablement à la bonne utilisation du charbon. Cet enlèvement des escarbilles peut se faire au fur et à mesure des besoins, soit par un éjecteur (n° 63_4), soit au moyen d'un petit treuil à vapeur mis à la disposition des chauffeurs.

Conditions XXIII *et* XXIV. La multiplicité des tuyaux est une cause de confusion, surtout dans les circonstances difficiles, où les conséquences les plus graves peuvent résulter de l'erreur commise sur la manœuvre d'un robinet. Il faut par suite, pour la machine comme pour les chaudières, réduire le tuyautage au strict nécessaire, ne pas l'enfouir dans la cale, mais le laisser au contraire bien à découvert. Enfin, pour éviter les erreurs, mettre sur chaque robinet l'indication de son emploi, et rendre bien apparents les repères d'ouverture. Les trous percés dans la muraille pour le tuyautage, sont autant de causes de voies d'eau, et il convient de réduire leur nombre le plus possible, en installant d'ailleurs, outre l'obturateur, une soupape de sûreté sur chaque prise d'eau et sur chaque débouché. Pour l'appareil moteur complet, le nombre de trous percés dans la muraille du navire peut être limité ainsi qu'il suit : une prise d'eau pour chaque pompe de circulation, et une ou deux décharges au plus pour ces pompes; deux prises d'eau pour les petits chevaux, une à chaque bout de chaufferie; enfin deux débouchés pour les extractions, une également à chaque bout de chaufferie; chaque tuyau d'extraction particulier de chaudière doit être muni, outre son robinet, d'un clapet de retenue.

Condition XXV. L'appareil moteur doit être bien aéré; c'est une condition indispensable pour que la surveillance du mécanicien de quart puisse être continue et par suite efficace. Ce résultat ne peut être obtenu qu'à la condition de ménager, en même temps que l'arrivée de l'air frais, le dégagement de l'air chaud, principalement dans le voisinage des cylindres. Ce dégagement peut se faire au moyen de manches en tôle débouchant soit dans un panneau, soit sur le pont; ces manches peuvent être munies de registres. Pour la chaufferie, l'aérage est une question aussi importante au point de vue de la bonne

utilisation du combustible, qu'au point de vue du bien-être des hommes. Le dégagement de l'air se fait par les fourneaux, par l'espace annulaire compris entre la cheminée et son enveloppe, quelquefois par une lame d'air ménagée dans l'axe de la cheminée, et enfin par le panneau même de cette cheminée. — En général, les panneaux et les manches à air suffisent pour l'arrivée de l'air frais ; mais avec le système des cloisons étanches, ces panneaux sont le plus souvent insuffisants, et il devient nécessaire d'installer des ventilateurs. La condition la plus importante à réaliser dans une semblable installation, est de disposer des débouchés en nombre et en position convenables, pour que l'air frais arrive dans la chaufferie avec une faible vitesse.

N° 20₂ Choix du propulseur. — La concurrence entre les roues à aubes fixes ou articulées et l'hélice, qui était à l'ordre du jour il y a quelques années, a donné gain de cause à ce dernier propulseur.

Pour les bâtiments de guerre, la question est résolue depuis longtemps en faveur de l'hélice, parce que ce propulseur est infiniment moins exposé que les roues aux projectiles ennemis et aux dangers d'un abordage. C'est à peine si l'on construit encore quelques rares avisos munis de ce dernier propulseur. Pour les bâtiments de commerce, et notamment pour les paquebots, la question devait être envisagée à d'autres points de vue : facilités pour les aménagements, rendement économique, régularité de marche et sécurité.

On a considéré pendant longtemps le paquebot à roues comme le plus confortable et de l'allure la plus régulière pour le transport des voyageurs. Mais l'expérience a montré que l'emploi de l'hélice est préférable à tous les points de vue. L'hélice, comparée aux roues, présente, en effet, les avantages suivants :

A puissance égale, le poids du moteur à hélice est moins considérable dans le rappport de 10 à 17 ; il est également moins encombrant dans le corps du navire.

La coque du navire à hélice est plus légère que celle du navire à roues, parce que les attaches du moteur exigent des consolidations moindres.

L'usage de la voile est beaucoup plus facile avec le navire à hélice qu'avec le navire à roues, et les deux moteurs, loin de se nuire, s'aident mutuellement.

L'hélice, aidée du vent, réclame un moteur mécanique de force

moindre à égalité de dimensions des navires, et le bâtiment à hélice peut transporter plus de voyageurs dans des aménagements mieux distribués, et aussi plus de marchandises.

D'autre part, l'expérience a établi qu'à vitesse égale et à port égal, l'hélice est plus économique que les roues, parce qu'elle est moins pesante et moins encombrante comme moteur, parce qu'elle s'aide mieux du vent, et parce qu'elle est moins sensible aux variations d'immersion du navire.

Le paquebot à roues souffre, en effet, dans la marche du moteur au départ, à cause de la lenteur qui résulte de la trop grande immersion des roues; tandis qu'à l'arrivée et surtout par gros temps, la marche peut être gênée à cause de la trop grande émersion du propulseur. Dans le premier cas, la vitesse est singulièrement ralentie; dans le second, la stabilité peut être compromise. — Si on réduit le diamètre des roues, afin d'obtenir au départ un nombre de tours suffisant pour employer toute la vapeur, le nombre de tours s'accroîtra beaucoup dans les derniers temps du trajet, et le recul augmentera fortement. — Le rendement de l'hélice est, au contraire, amélioré par l'immersion; si on tient le navire droit au départ, l'immersion de l'hélice peut être conservée en marche, en laissant l'arrière plongé par le règlement du chargement.

Ajoutons que pour les paquebots qui font un service régulier et sont, pour ainsi dire, tenus d'arriver à jour fixe, et qu'en général pour tous les bâtiments qui doivent pouvoir conserver une grande vitesse quel que soit le temps, l'hélice est le seul propulseur qui leur convienne. La vitesse est, en effet, beaucoup plus ralentie par gros temps avec les roues qu'avec l'hélice; cela tient à ce que la puissance propulsive des roues est diminuée par toutes les variations d'immersion, tandis que la puissance propulsive de l'hélice qui ne diminue que pendant les périodes d'émersion, est sensiblement augmentée pendant les fortes immersions.

Quant à la sécurité de l'appareil moteur et à la durée de son bon fonctionnement, l'expérience a fait justice des craintes un peu exagérées qu'inspirait, au début, la grande vitesse de rotation nécessaire au bon fonctionnement de l'hélice. Il faut ajouter cependant que la perfection du travail de construction des machines y a beaucoup contribué.

On reproche à l'hélice d'imprimer quelquefois à l'extrémité arrière du navire des trépidations fatigantes, ce qui n'a d'ailleurs lieu

qu'avec un nombre très-restreint d'ailes, et lorsque la partie supérieure de la cage de l'hélice n'est pas assez élevée. — D'un autre côté, le navire à hélice s'incline plus facilement sous l'influence de la rise du travers, et les oscillations du roulis sont plus incommodes; mais il ne peut en résulter aucun danger, à moins qu'il ne s'agisse de petits bâtiments qui ne se comporteraient pas mieux à la mer avec des roues. — Enfin l'hélice exige une immersion beaucoup plus considérable que les roues; cette immersion, qui fait atteindre au tirant d'eau 7 mètres environ pour les navires à grande vitesse, s'accorde mal avec la profondeur de la plupart des ports de commerce. Aussi a-t-on été conduit à augmenter la vitesse de rotation des appareils moteurs, afin de pouvoir diminuer le diamètre de l'hélice et par suite son immersion.

En résumé, l'hélice permet, par rapport à la même contenance en voyageurs et en marchandises et pour la même vitesse, d'avoir des navires de plus faibles dimensions munis de machines motrices moins puissantes et moins dispendieuses; elle profite du vent, et les deux moteurs, loin de se nuire, s'aident mutuellement. Enfin, les installations peuvent être plus confortables pour les voyageurs, la durée de la traversée est beaucoup moindre par gros temps, ce qui compense, pour ceux qui ne sont pas habitués à la mer, les inconvénients d'un roulis un peu plus prononcé.

Toutefois, on ne doit pas perdre de vue qu'il faut de grandes masses pour assurer la régularité de la marche et dominer les agitations de la mer; de sorte que si on installe l'hélice sur des navires ayant de faibles dimensions, le recul devient considérable par gros temps. Ces raisons expliquent l'augmentation croissante des dimensions des navires à hélice à grande vitesse. Actuellement, le déplacement des transatlantiques n'est pas inférieur à 3.500 tonneaux, et on peut dire que c'est grâce à cette énorme masse poussée par une force de 3.000 à 3.500 chevaux indiqués, que ces paquebots font, par tous les temps, des voyages très-réguliers.

N° 20. Types généraux et mode de fonctionnement des machines marines de guerre vers 1862. — Déjà, à cette époque, les navires à vapeur de guerre proprement dits étaient exclusivement mus par une hélice et exceptionnellement par deux, une de chaque bord, comme les batteries flottantes. Les roues n'étaient plus employées que pour les yachts et quelques avisos.

Pour les machines, les variétés les plus en vogue étaient alors, en France et en Angleterre :

POUR LES HÉLICES :

1° Les machines horizontales à bielle en retour à deux cylindres, le plus souvent d'un même bord, à moyenne pression (2^{at},50 à 2^{at},75) et avec condensation par mélange, ou même à haute pression sans condensation pour un grand nombre de canonnières anglaises. Ces machines étaient exécutées en France d'après les types de *Dupuy de Lôme*, de *Mazeline*, du *Creusot* et d'*Indret*, et en Angleterre d'après les types de Maudslay et de Miller.

2° Les machines horizontales à fourreau à deux cylindres d'un même bord, à moyenne pression et à condensation par mélange, ou même à haute pression sans condensation pour un grand nombre de canonnières anglaises. Ces appareils étaient confectionnés d'après le type de *Penn*, à l'usine d'*Indret* pour la France, et dans les ateliers de *Penn* à Londres, pour l'Angleterre.

3° Les machines horizontales à bielle directe, et même à pilon, à un ou à deux cylindres, à haute pression et sans condensation. Elles étaient exclusivement réservées aux canonnières et aux batteries flottantes. On les exécutait, en France, aux *forges et chantiers de la Méditerranée*, et en Angleterre, chez *Miller*, *Rennie*, etc.

POUR LES ROUES :

On semblait avoir particulièrement adopté les machines oscillantes verticales droites, à moyenne pression avec condensation par mélange, construites, d'après le type de *Penn*, par *Indret* pour la France, et par la plupart des fabricants anglais pour la marine britannique.

Vers cette même époque, 1862, la surchauffe était en pleine faveur; les machines Woolf et les condenseurs à surface faisaient de nouveau leur apparition : le *Loiret* était muni d'une machine Woolf à trois cylindres avec condensation par mélange, construite par *Mazeline;* et l'*Actif* recevait une machine Woolf, à haute pression, à deux groupes de trois cylindres (un admetteur et deux détendeurs par groupe) actionnant un arbre à deux coudes, et munie d'un condenseur à surface. Cette machine était construite d'après les plans de MM. *Rowan* et *Horton*, ingénieurs anglais.

Pour les générateurs de vapeur, les chaudières à moyenne pression tubulaires à retour de flamme étaient déjà le type presque exclusivement employé en France. Mais, en Angleterre, on employait un grand nombre de chaudières à lames d'eau du système *Lamb* et *Summers*. En Amérique, on employait déjà les tubes verticaux. Avec les hautes pressions, les chaudières presque universellement employées étaient tubulaires à flamme directe.

N° 20$_5$ Types généraux et mode de fonctionnement des machines marines de commerce vers 1862. — Pour la navigation maritime commerciale, on faisait à cette époque un égal usage des deux propulseurs, roues et hélice. Mais on paraissait avoir assigné à chacun d'eux une destination bien arrêtée, et en rapport avec le genre de

service du bâtiment. Les paquebots à grande vitesse qui pouvaient prendre une provision de combustible suffisante pour marcher sans cesse à toute puissance et le cap en route, étaient exclusivement à roues. L'hélice se trouvait adaptée à tous les porteurs de marchandises, caboteurs et long-courriers, ainsi qu'aux paquebots à passagers destinés aux très-lointaines navigations, comme celle de l'Australie.

Les machines fonctionnaient presque toutes à moyenne pression avec condensation par mélange; les variétés les plus en usage étaient alors :

POUR LES HÉLICES :

1° Les machines à pilon à deux cylindres, construites par un très-grand nombre de fabricants;

2° Les machines inclinées renversées à fourreau, assez rares en France, mais nombreuses en Angleterre, où elles étaient principalement construites dans les ateliers de *Samuelson de Hull;*

3° Les machines inclinées renversées à bielle directe de *Gâche*, presque exclusivement employées en France, et celles de *Maudslay* employées en Angleterre;

4° Diverses machines avec engrenage, soit en clocher, soit à cylindres oscillants verticaux, soit à balanciers supérieurs, qui étaient surtout employées dans la marine anglaise.

POUR LES ROUES :

1° Les machines oscillantes verticales droites ou quelquefois inclinées, très-employées en Angleterre, en Amérique et surtout en France;

2° Les machines à balanciers inférieurs, construites par l'usine *Napier, à Glascow* et dans les ateliers du *Creusot*, étaient surtout employées par la célèbre compagnie *Cunard*, et allaient l'être sur les paquebots de la *Compagnie transatlantique;*

3° Les machines à balanciers supérieurs, fabriquées dans divers ateliers de *New-York*, et presque exclusivement employées par plusieurs grandes compagnies américaines, surtout pour la navigation fluviale.

A cette époque, 1862, les machines Woolf et les condenseurs à surface étaient hardiment appliqués sur presque tous les paquebots de la compagnie *Pacific Steam Navigation*, qui desservent les mers du Sud. Les machines de ces paquebots étaient à hélice, inclinées à 50° sur la verticale, à bielle directe à deux paires opposées de cylindres côte à côte. L'arbre avait deux coudes diamétralement opposés; et la bielle de chaque cylindre admetteur et celle du cylindre détendeur de l'autre paire, agissaient sur le même coude.

Les chaudières employées étaient presque exclusivement du type tubulaire à retour de flamme pour la France; on en rencontrait aussi un grand nombre de ce type dans la marine anglaise, concurremment avec les chaudières à lames de *Lamb* et *Summers.*

N° 21. — 1. Objectif succinct des constructeurs de machines marines. — 2. Historique succinct de la condensation par surface. — 3. Historique succinct des machines Woolf. — 4. Éléments qui caractérisent les machines marines actuelles les plus perfectionnées.

N° 21_1 Objectif succinct des constructeurs de machines marines. — Nous avons énuméré au n° 20_1 les conditions générales de toute bonne machine marine. Après avoir adopté le type qui convient le mieux au bâtiment, le constructeur cherche surtout à réaliser les conditions fondamentales d'une faible dépense de combustible, et du minimum de poids et d'encombrement pour une puissance donnée. Les autres conditions à remplir ne viennent pour lui qu'en seconde ligne, et leur réalisation est le plus souvent subordonnée aux deux premières. Il résulte de ce qui a été dit au n° 20_2, que les machines Woolf, avec condensation par surface, sont celles qui réalisent le mieux l'ensemble des conditions générales de toute bonne machine marine; aussi, est-ce vers les perfectionnements de ce genre de machines que se porte toute l'attention des constructeurs.

Les navires de commerce, les paquebots et les transports de la marine militaire, marchent presque toujours à la même allure, celle qui correspond, ou à peu près, à la puissance maximum de leurs machines. Il n'en est pas de même pour les bâtiments de guerre. Pour ces derniers, en effet, l'allure à toute puissance n'est employée, en dehors des conditions de combat, que dans très-peu de circonstances; c'est le plus souvent avec la moitié des feux que ces navires font les exercices d'évolutions ou accomplissent leur traversée. Dès lors, il serait avantageux que, pour cette dernière marche, l'appareil moteur pût être fractionné, afin de n'employer que le nombre de cylindres en rapport avec la quantité de vapeur dépensée. En effet, si le degré de détente est de 5 à 6 pour la marche à toute puissance, cette détente est notablement augmentée lorsqu'on n'emploie que la moitié des feux, tous les cylindres recevant de la vapeur, et le degré de détente devient exagéré eu égard à la pression de la vapeur employée. Il en résulte des refroidissements intérieurs ou des condensations considérables dans les chemises, qui font augmenter la dépense de combustible. Pour obvier à cet inconvénient, il a été construit, dans ces derniers temps, pour un cuirassé allemand, une machine Woolf à trois cylindres égaux côte à côte, points morts à 120°, destinée à fonctionner avec l'introduction directe pour la marche à toute puissance. Ce résultat est facilement obtenu au moyen d'une disposition convenable du tuyautage. La transformation de la machine ordinaire en machine Woolf, et inversement, peut se faire aisément, même sans stopper l'appareil moteur. — Une semblable disposition est applicable, d'une manière générale, à toutes les machines Woolf à plusieurs paires de cylindres; il suffit de disposer un tuyautage de section suffisante, mettant en communication les deux extrémités de chaque cylindre admetteur, de manière à annuler l'action de ce cylindre.

De semblables machines auraient l'inconvénient de dépenser un peu

plus de charbon lors de la marche à toute puissance; mais elles seraient dans de meilleures conditions de fonctionnement pour l'allure avec la moitié des feux qui est la plus usuelle. D'un autre côté, les cylindres seraient moins volumineux, et par suite les machines moins lourdes et moins encombrantes. Mais, dans tous les cas, il convient qu'il y ait trois paires de cylindres actionnant des vilebrequins à 120°, afin de conserver une rotation régulière lors de la marche à toute puissance.

N° 21. Historique succinct de la condensation par surface. — On donne le nom de condenseurs à surface aux appareils dans lesquels l'eau employée à la condensation n'est pas mélangée avec la vapeur. Cette eau circule seulement, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur d'un ou de plusieurs faisceaux de tubes sur la face desquels la vapeur vient se condenser par contact. — Les nombreux inconvénients de l'usage de l'eau de mer ont fait chercher, dès les premiers navires à vapeur, les moyens d'alimenter les chaudières à l'eau douce; les difficultés pratiques ont seules retardé l'adoption d'un remède aussi simple en apparence. Watt l'essaya, mais il y renonça. Hall reprit les idées de Watt vers 1830 et les mit en faveur dans l'espoir de faire durer les chaudières marines autant que celles qui employaient de l'eau douce à terre. Mais ses espérances ne se réalisèrent pas, et les condenseurs à surface furent abandonnés, ou tout au moins peu employés. Ce n'est que vers l'année 1856, époque de l'adoption des hautes pressions pour les machines marines, que les divers constructeurs ont sérieusement étudié ce mode de condensation, devenu indispensable avec les pressions élevées.

Après *Hall*, il faut citer l'ingénieur américain *Pierson*, ainsi que les constructeurs *Rowan* et *Horton*, et *Day* parmi ceux qui ont le plus travaillé à résoudre le problème de la condensation par surface. *La Compagnie péninsulaire et orientale* se lança résolûment la première dans l'application de ces nouveaux condenseurs, qui lui firent réaliser des économies notables. Mais l'emploi des condenseurs à surface n'était pas sans inconvénients; le graissage des machines se faisant comme par le passé, les tubes se tapissaient, au bout de peu de temps, d'une couche assez forte de matières grasses qui diminuait considérablement leur faculté condensante.

De plus, ces matières grasses étaient, en partie, entraînées aux chaudières par l'eau d'alimentation, et y occasionnaient des ébullitions violentes qui dégénéraient souvent en projection d'eau. D'un autre côté, les générateurs de vapeur qui n'étaient plus alimentés qu'à l'eau douce, révélèrent bientôt les traces d'une usure prématurée. On crut d'abord que cette prompte détérioration des chaudières était occasionnée par l'absence des matières salines dans l'eau d'alimentation; mais un examen plus attentif montra que les tôles des générateurs étaient piquées, et, en certains endroits, profondément creusées ou même percées, comme si ces tôles avaient été soumises à l'action d'un nombre incalculable de petites piles galvaniques. On attribua dès lors la détérioration des chaudières à l'action de particules de cuivre détachées des tubes du condenseur et entraînées par l'eau d'alimentation; et pour parer à cet inconvénient, on imagina d'étamer tous les tubes des condenseurs. — Mais l'analyse faite par des

chimistes anglais, chargés par la *Compagnie péninsulaire et orientale* d'étudier la question, montra que s'il y avait du cuivre dans les dépôts qui tapissaient les chaudières, c'était en si petite quantité que son effet était bien moindre que l'influence des corps gras sur le fer, lorsque la température est un peu élevée. L'attention fut éveillée par la prompte corrosion des chaudières en fer destinées à faire de la stéarine, et ayant de grandes quantités de suif dans l'eau à 150° ou 165° de température. De nouveaux essais prouvèrent que l'oxydation des chaudières provenait de l'accumulation des graisses et qu'elle se faisait souvent à la hauteur du niveau, où la tôle était plus particulièrement piquée par les acides gras.

La cause du mal reconnue, le remède fut bientôt trouvé et appliqué pour la première fois, d'après les indications de M. *Day*, sur les paquebots de la *Compagnie péninsulaire et orientale* à *Southampton*. Les réparateurs furent supprimés, et l'eau douce perdue fut remplacée par une quantité équivalente d'eau de mer, quitte à faire tous les jours une petite extraction aux chaudières. On arriva ainsi à établir sur les tôles une couche de sel assez mince pour ne pas gêner sensiblement la transmission du calorique, mais suffisante pour préserver les tôles du contact des acides gras. Toutefois la question de la condensation par surface n'était pas complétement résolue; les tubes continuaient de s'encrasser, et le vide tombait au bout de quelques jours de marche. D'un autre côté, les graisses entraînées aux chaudières y produisaient toujours des ébullitions fréquentes.

Aujourd'hui, ces inconvénients sont évités, en grande partie, par l'emploi exclusif de l'huile au graissage des cylindres, et par l'introduction périodique dans la chambre à vapeur des condenseurs, d'une dissolution de bicarbonate de soude, qui a pour effet de détacher les graisses des tubes et de les saponifier en absorbant les parties acides. Toutefois, avec ce dernier moyen, il s'est présenté un inconvénient grave : des dépôts graisseux adhérents, assez considérables, se sont formés dans les condenseurs aux points où le courant de vapeur était faible, et dans les chaudières, au-dessus des foyers et entre les tubes près des plaques de tête; il s'est même produit, dans ces derniers organes, des coups de feu occasionnés par ces dépôts. Tout dernièrement, M. *Hetet*, pharmacien en chef, et M. *Risbec*, sous-ingénieur de la marine, ont imaginé et réalisé un système de dégraissage de l'eau d'alimentation au moyen d'un lait de chaux. Ce système, appliqué sur le *Dupetit-Thouars*, pendant une campagne de deux ans, paraît avoir donné les meilleurs résultats, et la question si importante de la neutralisation des acides gras, tout en évitant les dépôts adhérents, paraît définitivement résolue. L'emploi du lait de chaux est aujourd'hui réglementaire dans la marine française.

Dans le condenseur de Hall, la vapeur était à l'intérieur des tubes et l'eau froide à l'extérieur. Cette disposition a prévalu pendant longtemps, et on pensait même qu'il serait désavantageux de mettre la vapeur autour des tubes. Cependant on construit aujourd'hui, avec succès, un grand nombre de condenseurs dans lesquels les rôles des deux surfaces tubulaires sont intervertis, ce qui permet de mieux utiliser l'eau refroidissante. — Nous étudierons en détail, au chap. III, § 3, tout ce qui est relatif aux

condenseurs à surface. Ajoutons que très-souvent l'eau refroidissante est refoulée dans le condenseur par une pompe ordinaire que la machine conduit elle-même; mais l'emploi des pompes centrifuges ou rotatives mues par un moteur spécial, ce qui permet de maintenir le condenseur froid pendant les arrêts, tend à devenir général.

N° 21, Historique succinct des machines Woolf. — Watt a eu le premier l'idée de faire agir la vapeur par expansion; mais en arrêtant l'introduction de la vapeur un peu avant la fin de course du piston, Watt avait seulement pour but de réduire la contre-pression sur cet organe au moment du renversement de sa marche; on ne s'aperçut que plus tard qu'on obtenait ainsi une plus grande quantité de travail pour le même poids de vapeur dépensée.

L'idée de faire détendre la vapeur dans des cylindres séparés est due à *Jonathan Hornblower*, contemporain de Watt. Mais l'application de l'idée de cet inventeur eut peu de succès, à cause des faibles pressions employées à cette époque; *Hornblower* était d'ailleurs obligé d'emprunter à Watt la plupart des organes brevetés de ses machines.

Vingt-trois ans plus tard, en 1804, l'idée de *Hornblower* est reprise par *Arthur Woolf* et appliquée avec succès. Dans les premières machines construites dans le système Woolf, les cylindres sont placés côte à côte et les pistons agissent sur une traverse commune, les points morts étant concordants et de même nom.

En 1824, *Joseph Eve* imagine une machine rotative composée de deux parties dans lesquelles la vapeur travaille successivement; c'est un premier pas vers un mode de fonctionnement de la vapeur bien différent de celui des machines de Woolf. L'idée mise en avant par *Eve* ne tarde pas à être proposée pour les machines à piston.

En 1834, *Ernest Wolf* propose les machines à détente composée à deux et à trois cylindres, telles qu'on les construit aujourd'hui; et on peut juger, par l'extrait suivant de la patente de cet inventeur, que la plupart de nos machines marines devraient légitimement porter le nom de *Wolf*. Voici en effet ce que dit cette patente :

« L'invention consiste dans la combinaison de machines au nombre de deux ou plus, chacune complète dans toutes ses parties, et ainsi disposées que la première recevant la vapeur à une, deux, etc., atmosphères de pression, la machine suivante est mue par la vapeur d'échappement de la première; dans la dernière machine, la vapeur est condensée à la manière ordinaire ou s'échappe dans l'atmosphère; le travail fourni par les diverses machines est appliqué au même arbre ou à des arbres différents reliés entre eux, ou bien même à des arbres complétement indépendants.

« Comme dans les navires à vapeur et dans d'autres applications, on emploie généralement deux machines conjuguées, la présente invention s'y adapte tout particulièrement, en permettant de réaliser des avantages économiques sans compliquer l'appareil ou en augmenter le prix.

« Il est quelquefois utile d'avoir entre les cylindres en communication, un réservoir intermédiaire pour régulariser la pression; ce réservoir

pourra être avantageusement placé à la base de la cheminée, de manière à maintenir ou même à élever la température et la pression de la vapeur dans son passage d'un cylindre à l'autre. On peut même, au besoin, fournir la chaleur au réservoir intermédiaire par un foyer particulier.

« Il est souvent nécessaire d'installer un tuyau spécial, avec robinet d'arrêt, permettant d'envoyer la vapeur de la chaudière au réservoir intermédiaire, pour donner à la machine la faculté de partir dans une position quelconque des manivelles.

« On pourra se servir de cette introduction directe pour augmenter momentanément la puissance de l'appareil. »

Depuis la mise à jour des idées de *Woolf* et de *Wolf*, toutes les inventions relatives à la détente dans des cylindres séparés, portent uniquement sur le groupement des cylindres conjugués, ou sur le mode de transmission du mouvement des pistons à l'arbre de couche. Ainsi, dans le système *Woolf*, apparaissent successivement les inventions suivantes :

En 1805, *Willis Earle* propose de superposer les cylindres et de fixer leurs pistons sur une tige commune (n° 9_2), et cette disposition est adoptée et conservée pendant longtemps.

En 1837, *William Gilman* propose l'emploi de cylindres placés l'un dans l'autre, l'un d'eux ayant un piston annulaire, avec un seul tiroir à orifices multiples pour desservir les deux cylindres (n° 9_4).

En 1839, *William Whitham* propose une machine à cylindre unique et à fourreau simple (n° 9_6). La partie annulaire sert de cylindre admetteur et la partie pleine de cylindre détendeur.

En 1841, *James Sims* emploie deux cylindres bout à bout, les pistons sur la même tige, avec cette particularité que les bouts en contact des deux cylindres sont en communication avec l'air libre (n° 9_3).

En 1844, *Octavius Henry Smith* propose une machine formée de deux cylindres oscillants, placés côte à côte, les pistons des cylindres conjugués agissant sur la même soie de manivelle (n° 9_1).

En 1852, *Rowan* et *Horton* construisent des machines à trois cylindres conjugués, dont deux cylindres détendeurs, les pistons agissant sur la même traverse (n° 118_{12} du *Grand Traité*). L'appareil complet comporte six cylindres et la vapeur est employée à 8 atmosphères. On rencontre une machine de ce type sur l'aviso français l'*Actif*.

Humphrys et *Tennant* construisent à la même époque des machines à pilon à deux paires de cylindres bout à bout (n° 9_8), les pistons ayant une tige commune. Cette disposition a été fréquemment imitée.

Dans le système de *Wolf* apparaissent successivement les inventions suivantes :

En 1842, *Hinrik Zander* porte le nombre de cylindres détendeurs à deux et fait agir les trois pistons sur les manivelles séparées d'un même arbre, de manière à obtenir un mouvement aussi uniforme que possible; les cylindres détendeurs sont munis de chemises contenant de la vapeur venant des chaudières (n° 10_3).

En 1848, l'usine de *Sterkerader-Hütte* construit une machine à roues à deux cylindres inclinés vis-à-vis, les pistons agissant sur des manivelles distinctes reliées par une menotte, les points morts étant à 90 degrés (n° 10_1).

En 1852, *James Samuel* emploie deux cylindres dont les pistons agissent sur des manivelles calées à 90 degrés. La vapeur qui se détend agit simultanément sur les deux pistons pendant un quart de révolution, et sur le piston du cylindre détendeur seul pendant le quart suivant (n° 10_2). C'est la seule idée qui modifie un peu le système *Wolf*.

En 1856, *Randolph* et *Elder* construisent des machines à roues à deux paires de cylindres inclinés droits. Les pistons des cylindres conjugués agissant sur des manivelles calées à angle droit. C'est, comme fonctionnement, la disposition des cylindres côte à côte (n° 10_1).

En 1861, M. *Normand* remplace la machine du petit steamer *le Furet*, construite par *Penn*, par une machine du système Wolf.

En 1863, M. *Murray Jackson* fait construire à *Zurich*, des machines marines composées de deux cylindres placés côte à côte et agissant sur des manivelles calées à angle droit (n° 10_1).

Enfin, actuellement, les machines marines système *Wolf*, connues sous le nom de *Compound*, sont construites en Angleterre par beaucoup d'usines, bien que quelques-unes conservent encore le type de Woolf, à cylindres superposés, placés côte à côte ou concentriques. En France, on ne fait guère que des machines du système Wolf, soit à deux, soit à trois cylindres; toutefois, la marine militaire revient, pour les grands appareils, au système *Woolf*.

N° 21_4 Éléments qui caractérisent les machines marines actuelles les plus perfectionnées. — Les éléments principaux qui caractérisent les machines marines actuelles, sont groupés dans le tableau suivant, qui renferme aussi des éléments de comparaison avec les anciennes machines à détente simple. Nous ferons d'abord ressortir de ce tableau les trois points importants suivants :

1° La consommation de combustible par heure et par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons, diminue à mesure que le degré de détente augmente. — Pour les machines ordinaires, telles que celles *du Solferino*, de *la Normandie*, de *la Flandre*, etc., qui fonctionnent avec une introduction de 0,63, cette dépense de charbon est de 1^{kg},760; tandis qu'elle est seulement de 1^{kg},396 pour les machines de *la Revanche* et de *la Gauloise*, qui fonctionnent avec une introduction de 0,40. — Pour les machines Woolf, telles que celles de *la Savoie*, de *la Valeureuse* et de *la Magnanime*, qui fonctionnent avec une introduction de 0,45, la dépense de charbon est de 1^{kg},376 ; elle descend à 1^{kg},315 pour la machine de même puissance *du Marengo*, qui fonctionne avec une introduction à peu près égale, 0,44, et tombe à

0^{kg},855 pour la machine *du Henri IV* qui fonctionne à une introduction de 0,16.

2° A égalité de détente, les machines Woolf sont plus économiques que les machines ordinaires : ainsi, *la Revanche* et *la Gauloise*, avec 0,40 d'introduction, dépensent 1^{kg},396 par heure et par cheval indiqué, tandis que *le Marengo* dépense seulement 1^{kg},315, bien que le degré d'introduction soit de 0,44.

3° Le poids total de l'appareil moteur, chaudières pleines comprises, ainsi que le volume occupé dans le navire par les machines et les chaudières, sont plus faibles avec les machines Woolf qu'avec les machines ordinaires à détente simple. Cela résulte de la comparaison faite des éléments qui concernent les machines à moyenne pression (jusqu'à 3 atm.). Ainsi, les machines ordinaires ont un poids moyen de 271^{kg},4, et occupent un volume de $0^{m.cub}$,496, par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons, tandis que les machines Woolf n'ont qu'un poids de 216^{kg}, et n'occupent qu'un volume de $0^{m.cub}$,425 pour la même puissance. Cela tient à ce que les machines Woolf fonctionnent à un plus fort degré de détente, ce qui permet une réduction de la puissance des chaudières, et par suite de poids et d'encombrement. Il ressort même de ce tableau, qu'à égalité d'introduction, les machines ordinaires telles que celles de *la Revanche* et de *la Gauloise*, sont plus lourdes et plus encombrantes que les machines Woolf de même type comme mécanisme, telles que celles de *la Savoie* ou *du Marengo*. Enfin, si l'on considère la deuxième partie du tableau en question, qui renferme les éléments des machines fonctionnant à haute pression, de 4 à 5 atmosphères, on voit que le poids des machines Woolf par cheval de 75^{km} sur les pistons, peut être singulièrement diminué. On remarquera, par contre, que le volume occupé par les machines des quatre bâtiments *France*, *Amérique*, *Gironde et Anadyr*, dont nous avons pu nous procurer cet élément, est bien considérable. Il importe de faire remarquer que ces machines appartiennent à des paquebots, qu'elles sont du type à pilon, et qu'il n'y a pas de chargement au-dessus, d'où un espace considérable perdu, qui est mis sur le compte de la machine.

Pour résumer le tableau suivant, et en mettant de côté les machines ordinaires, nous avons fait deux séries de moyennes : la première concerne les machines à moyenne pression (3 atm. absolues), appartenant toutes à des bâtiments de la marine militaire ; la seconde concerne les machines à haute pression (4 à 5 atm. abso-

Éléments généraux concernant les appareils des bâtiments à vapeur relatives à des machines sensiblement de mêmes

Catégorie	NOMBRE ET ESPÈCE des BATIMENTS entrant dans chaque moyenne.	NOMS DES NAVIRES et des CONSTRUCTEURS DES MACHINES	TYPE des MACHINES.	ESPÈCE des CONDENSEURS.	ESPÈCE des CHAUDIÈRES.	FORCE NOMINALE en chevaux de 300km prévus.
MACHINES ORDINAIRES. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	6 (cuirassés de 1er rang).	*Solferino, Normandie, Flandre, Héroïne* (Mazeline). — *Numancia, Provence* (Forges et chant. de la Méditerranée).	*ordinaires*, horizont. à bielle en retour, 2 cylindres. . .	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	chev. 1.000 à [illegible]
MACHINES ORDINAIRES. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	2 (cuirassés de 2e rang).	*Revanche* (Forges et chantiers de la Méditerranée). — *Gauloise* (Ateliers et chantiers de l'Océan).	*ordinaires*, horizont. à bielle en retour, 3 cylindres. . .	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	900
MACHINES ORDINAIRES. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	5 (divers).	*Belliqueuse* (Forges et chantiers de la Méditerranée). — *Taureau, Tarn* (Indret). — *Sémiramis, Minerve* (Creusot).	*ordinaires*, horiz. à bielle en retour, 2 cylindres (2 machines pour *Taureau*). . . .	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	480 à 43[illegible]
MACHINES ORDINAIRES. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	3 (2 avisos et 1 transport).	*Talisman, Forbin* (Mazeline). — *Var* (Creusot).	*ordinaires*, horizont. à bielle en retour, 2 cylindres. . .	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	230
MACHINES ORDINAIRES. — PAQUEBOTS à hélice.	2	*Péreire, Washington* (premières machines) (Napier).	*ordinaires*, à pilon, 2 cylindres.	à surface.	tubulaires à retour de flamme.	1.000 à [illegible]
MACHINES ORDINAIRES. — PAQUEBOTS à hélice.	3	*Provence, Donaï, Tigre* (La Ciotat). . .	*ordinaires*, à fourreau verticales droites, 2 cyl. avec engrenage de rapport = 2.	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	500
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	3 (cuirassés de 1er rang).	*Savoie* (Forges et chantiers de la Méditerranée). — *Valeureuse* (Indret). — *Magnanime* (Mazeline).	*Woolf*, horizont. à bielle en retour, 3 cylindres côte à côte points morts à 120°. .	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	900
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	1 (cuirassé de 1er rang).	*Marengo* (Forges et chantiers de la Méditerranée).	*Woolf*, horizont. à bielle en retour, 3 cyl. côte à côte points morts à 90° et 135°.	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	950
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	1 (cuirassé de 1er rang).	*Suffren* (Indret).	*Woolf*, horizont. à bielle en retour, 3 cyl. côte à côte points morts à 90° et 135°.	à surface.	tubulaires à retour de flamme.	950
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	2 (cuirassés de 2e rang).	*Thétis* (Forges et chantiers de la Méditerranée). — *Jeanne-d'Arc* (Indret). .	*Woolf*, horizont. à bielle en retour, 3 cyl. côte à côte points morts à 90° et 135°.	à mélange.	tubulaires à retour de flamme.	450
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	3 (divers).	*La Galissonnière, Sané, Infernet* (Indret).	*Woolf*, hoizont. à bielle en retour, 3 cyl. côte à côte points morts à 90° et 135°. (2 mach. pour *la Galissonnière*). . .	à surface.	tubulaires à retour de flamme.	550 à 45[illegible]
MACHINES WOOLF OU COMPOUND. — NAVIRES DE GUERRE à hélice.	2 (transports).	*Vienne* (Indret). — *Résolue* (Claparède).	*Woolf*, à pilon, une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°.	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	150

…uels de toutes catégories; groupés par moyennes en nombres ronds
…pèce, type, force et pression aux chaudières.

A TOUTE PUISSANCE.

PRESSION absolue aux chaudières.	INTRODUCTION *réelle* pour les machines *ordinaires*; et *effective* [c'est-à-dire (n° 13₁) ramenée au cas d'une détente simple] pour les machines *Woolf*.	EFFORT MOYEN sur les pistons, *réel* pour les machines *ordinaires*; et *fictif* [c'est-à-dire (n° 15₂) ramené au cas d'égalité de pression dans tous les cylindres] pour les machines *Woolf*.	NOMBRE de tours réalisé par minute.	VITESSE réalisée des pistons à la seconde.	VALEUR du cheval nominal réalisé.	PAR CHEVAL INDIQUÉ, c'est-à-dire par cheval de 75 kilogrammètres mesuré sur les pistons avec l'indicateur. SURFACE refroidissante des condenseurs à surface.	SURFACE de grille des chaudières.	SURFACE de chauffe des chaudières.	CONSOMMATION de combustible par heure.	POIDS des machines et des chaudières pleines.	VOLUME occupé dans le navire par la machine et les chaudières.
atm.		cent. de merc.	tours.	mèt.	km.	m. car.	déc. car.	m. car.	kilog.	kilog.	m. cub.
2,7	0,63	116	52,6	2,27	278	Néant.	2,00	0,50	1,760	238	0,453
2,3	0,40	70	54,4	2,36	261	Néant.	1,92	0,48	1,396	261	0,547
2,7	0,61	104	64,3	1,91	254	Néant.	2,22	0,56	1,814	277	0,471
2,7	0,59	92	71,0	1,78	241	Néant.	2,43	0,62	1,863	346	0,590
2,6	0,50	123	66,6	2,32	299	0,27	1,30	0,40	1,575	239	»
2,5	0,60	103	33,2	1,47	219	Néant.	1,99	0,18	2,016	283	»
2,9	0,45	76	54,9	2,38	283	Néant.	1,74	0,44	1,376	245	0,496
2,7	0,41	80	55,5	2,40	285	Néant.	1,55	0,39	1,315	230	0,466
2,7	0,45	80	63,9	2,77	330	0,17	1,43	0,33	1,332	205	0,369
2,9	0,45	90	69,6	1,97	322	Néant.	1,40	0,36	1,339	203	0,419
3,0	0,39	78	94,6	2,42	317	0,18	1,28	0,29	1,030	195	0,357
4,0	0,27	79	76,3	2,29	349	0,22	1,19	0,32	1,140	211	0,554

Éléments généraux concernant les appareils des bâtiments à vapeur
relatives à des machines sensiblement de même

(Suite du tableau

NOMBRE ET ESPÈCE des BATIMENTS entrant dans chaque moyenne.				NOMS DES NAVIRES et des CONSTRUCTEURS DES MACHINES.	TYPE des MACHINES.	ESPÈCE des CONDENSEURS.	ESPÈCE des CHAUDIÈRES.	FORCE NOMINALE en chevaux de 300k prévue.
MACHINES WOOLF OU COMPOUND (Suite).	PAQUEBOTS ET NAVIRES DE COMMERCE	à hélice.	2	*France*, *Amérique* (Maudslay)......	*Woolf*, à pilon, deux paires de cylindres bout à bout points morts communs...	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	chev. 350
			2	*Gironde*, *Anadyr* (La Ciotat)......	*Woolf*, à pilon, 3 cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°........	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	600 à 700
			4	*Holland* (James-Jack, Rollo et Cᵉ). — *Elbe*, *City-of-Bristol* (John Elder et Cᵉ). — *Batavia* (Denny et Cᵉ)....	*Woolf*, à pilon, une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°........	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	370 à 340
			4	*Étoile-du-Chili* (Forges et chantiers de la Méditerranée)...........	*Woolf*, à pilon, 2 paires de cylindres côte à côte points morts à 180°.......	à surface.	à tubes bouilleurs horizontaux et verticaux, type Dupuy de Lôme.	300
			6	*Aracan* (Denny et Cᵉ). — *Persian* (James-Jack, Rollo et Cᵉ). — *Cyphrènes* (John Elder et Cᵉ). — *Bavaria*, *Borussia*, *Danube* (Day, Sammers et Cᵉ).....	*Woolf*, à pilon, une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°.....	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	220 à 160
			2	*Henri IV*, *Union* (Forges et chantiers de la Méditerranée)............	*Woolf*, à pilon, une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°.....	à surface.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	150 à 120
		à roues.	3	*Bonivard*, *Lombardia*, *Elvezia* (Escher, Wyss et Cᵉ).............	*Woolf*, inclinées droites, une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°...	à mélange.	cylindriques, tubulaires à retour de flamme.	120 à 110

...ctuels de toutes catégories; groupés par moyennes en nombres ronds
...spèce, type, force et pression aux chaudières

(...page précédente).

A TOUTE PUISSANCE.											
						PAR CHEVAL INDIQUÉ, c'est-à-dire par cheval de 75 kilogrammètres mesuré sur les pistons avec l'indicateur.					
...PRESSION absolue aux chaudières.	INTRODUCTION *réelle* pour les machines *ordinaires;* et *effective* [c'est-à-dire (n° 13₁) ramenée au cas d'une détente simple] pour les machines *Woolf.*	EFFORT MOYEN sur les pistons, *réel* pour les machines *ordinaires;* et *fictif* (c'est-à-dire (n° 13₂) ramené au cas d'égalité de pression dans tous les cylindres) pour les machines *Woolf.*	NOMBRE de tours réalisé par minute.	VITESSE réalisée des pistons à la seconde.	VALEUR du cheval nominal réalisé.	SURFACE refroidissante des condenseurs à surface.	SURFACE de grille des chaudières.	SURFACE de chauffe des chaudières.	CONSOMMATION de combustible par heure.	POIDS des machines et des chaudières pleines.	VOLUME occupé dans le navire par la machine et les chaudières.
atm.		cent. de merc.	tours.	mèt.	km.	m. car.	déc. car.	m. car.	kilog.	kilog.	m. cub.
5,0	0,20	91	64,0	2,76	289	0,17	1,21	0,30	1,000	207	0,689
4,4	0,25	93	74,6	2,78	308	0,35	1,40	0,30	»	232	0,819
5,0	0,20 (environ).	68	54,1	2,14	300	0,31	1,64	0,43	0,936	»	»
5,7	0,22	104	66,5	1,99	355	0,20	0,98	0,27	0,904	168	»
5,0	0,20 (environ).	74	54,7	1,95	300	0,35	1,81	0,50	1,056	»	»
4,0	0,16	69	66,3	1,99	289	0,22	1,25	0,32	0,855	194	»
4,8	0,20 (environ).	132	47,3	1,82	300	Néant.	1,55	0,43	1,117	»	»

lues), et les machines, sauf deux, appartiennent à des bâtiments de commerce. Voici ces moyennes :

ÉLÉMENTS concernant les machines Woolf du tableau ci-dessus.		MACHINES à moyenne pression, 3at absolues aux chaudières.	MACHINES à haute pression, 4 à 5at absolues aux chaudières.
Introduction effective		0,43	0,21
Nombre de tours réalisé par minute		70,70	62,20
Vitesse réalisée des pistons à la seconde		2m,35	2m,21
Par cheval indiqué de 75km sur les pistons, mesuré avec l'indicateur.	surface refroidissante du condenseur	0m.c,1775	0m.c,2860
	surface de grille	1déc.c,48	1déc.c,60
	surface de chauffe	0m.c,36	0m.c,39
	consommation de combustible par heure	1ks,254	1ks,002
	poids des machines et des chaudières pleines	216ks	206ks
	volume occupé dans le navire par les machines et les chaudières	0m.cub,424	0m.cub,687

Il ressort de ces moyennes, que les machines des paquebots sont plus largement dotées en surface de grille, surface de chauffe et surface réfrigérante, que les machines de la marine militaire, bien que les premières fonctionnent à un degré de détente beaucoup plus élevé (plus du double) que les secondes, et cependant le poids par cheval indiqué est moindre. La consommation est également plus faible, ce qu'il faut attribuer au degré de détente. L'encombrement est plus grand sur les paquebots, les machines étant à pilon, et n'ayant rien au-dessus. — La différence des poids entre les deux catégories de machines, provient sans doute de ce que les machines horizontales de la marine militaire ont une très-forte plaque de fondation et des condenseurs séparés ; tandis que dans les machines à pilon du commerce, la plaque de fondation est beaucoup plus réduite, et très-souvent les condenseurs font partie des bâtis.

On estime qu'actuellement en France, avec des matériaux de choix, le poids par cheval indiqué des machines fonctionnant à 5 atmosphères de pression absolue, peut descendre à 200ks et même 190ks, tout compris, chaudières pleines, rechanges et approvisionnements ; mais c'est un minimum au-dessous duquel la sécurité de l'appareil pourrait être compromise. — Cependant, les machines anglaises, d'après les résultats connus de leurs essais, ne pèseraient que 170ks et même 150ks par cheval indiqué ; mais il y a sans doute erreur sur

l'évaluation de la puissance. Cette erreur peut provenir du mode de graduation des indicateurs, de la manière de diriger les essais et de leur durée. Il suffit de citer un exemple : le *Bellerophon* a développé 8.529 chevaux sur *le mille mesuré*, tandis qu'on n'a obtenu que 7.187 chevaux lors de l'essai de 6 heures; ce qui constitue déjà une augmentation de 18 p. 100 sur la puissance réelle, augmentation qui a pu être plus considérable si les ressorts des indicateurs étaient un peu affaiblis, et si l'on a choisi les moments favorables pour relever les courbes au lieu de faire cette opération à intervalles égaux.

CHAP. II, § 2. — DESCRIPTION DES TYPES RÉCENTS DE MACHINES ORDINAIRES ET WOOLF A ROUES.

N° 22. — 1. Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange : type des Forges et chantiers de la Méditerranée et de Michel. — 2. Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange : types de Ravenhill. — 3. Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type américain. — 4. Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange ou par surface : types de J. Watt. — 5. Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Rennie. — 6. Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Day, Lamb et Summers. — 7. Machine ordinaire oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface type de Jüngermann. — 8. Machine ordinaire, horizontale à bielle directe (à roues), avec condensation par surface : type de Rennie. — 9. Machines Woolf, inclinées droites à bielle directe (à roues), avec condensation par surface : types du Creusot et de Normand. — 10. Machine Woolf, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Penn.

N° 22, Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange : types des forges et chantiers de la Méditerranée et de Michel. —Le dernier type des machines ordinaires à cylindres oscillants construites par les *forges et chantiers de la Méditerranée*, se distingue par un ensemble des plus satisfaisants. Les deux cylindres sont symétriquement placés, par rapport au plan longitudinal du bâtiment, l'un à bâbord et l'autre à tribord, et ont leurs axes verticaux dans la position moyenne d'oscillation. Les manivelles sont calées à 90°. L'entablement, très-évidé et très-dégagé, est monté sur seize colonnettes en fer qui reposent sur la plaque de fondation. La distribution de vapeur est faite, pour chaque cylindre, par deux tiroirs de détente et par deux tiroirs d'introduction, dont les poids s'équilibrent autour de l'axe d'oscillation du cylindre. La vapeur arrive par les tourillons extérieurs, pénètre, de chaque côté, dans un canal qui l'amène dans la boîte d'un organe de détente à orifices multiples, puis arrive à la boîte

à tiroir d'où elle est distribuée dans le cylindre. L'évacuation se fait par les tourillons intérieurs. Les tiroirs sont en coquille simple sans compensateur, et sont conduits par des secteurs, avec l'intermédiaire obligé de l'arc de Penn. Les excentriques sont placés sur l'arbre intermédiaire, à côté des paliers. Le changement de suspension s'opère, pour les deux à la fois, au moyen d'un arbre de relevage commun, monté sur les colonnes intérieures de l'arrière, et que l'on manœuvre de l'avant à l'aide d'un secteur denté, d'une vis sans fin et d'un volant. Chaque arc de Penn porte deux coulisseaux, et chacun de ces derniers est monté à l'extrémité d'un levier droit qui conduit le tiroir. La tige de ce dernier organe passe dans un guide porté par le cylindre; elle est munie d'une douille dans laquelle glisse, avec le jeu nécessaire pour l'oscillation, un petit coulisseau monté sur l'extrémité du levier précité. — Les organes de détente fonctionnent sous l'influence de la variation de la course; ils ouvrent en grand à demi-course. Ces organes sont conduits par des secteurs, avec une transmission de mouvement semblable à celle des tiroirs. Ils sont indépendants l'un de l'autre, et le changement de suspension s'obtient, pour chacun d'eux, au moyen d'une simple bielle que l'on pousse ou que l'on tire directement, et que l'on peut fixer à trois positions différentes, au moyen d'encoches qui s'emboîtent sur un boulon fixé à la colonnette en abord de l'avant. Des deux bielles qui s'articulent sur le secteur de détente, une seule est actionnée par un excentrique; l'autre correspond à un chariot circulaire; il en résulte que la course de l'organe de détente est plus ou moins grande, suivant que le bouton d'entraînement engagé dans le secteur est plus ou moins éloigné du pied de la bielle qui correspond au chariot concentrique à l'arbre. La course est sensiblement nulle lorsque ce coulisseau et ce pied de bielle sont sur la même verticale; l'organe de détente est alors ouvert en grand et n'a pas besoin d'être déclanché.

Un seul condenseur par mélange est placé entre les deux cylindres, dans la plaque de fondation. Il est muni d'un régulateur d'injection à lanterne. La pompe à air est placée sur l'arrière et a son axe incliné. Cette pompe est aspirante élévatoire, avec fourreau. Le condenseur, le piston et la bâche n'ont qu'un seul clapet circulaire en caoutchouc. Le piston de pompe à air est conduit directement, par une bielle qui reçoit son mouvement d'un vilebrequin de l'arbre intermédiaire. Le tourillon du pied de bielle fait partie d'un gros boulon qui fixe le fourreau sur le piston. La bâche est placée au-dessus de la pompe à air et sur l'arrière.

Les pompes alimentaires et les pompes de cale, une de chaque espèce par cylindre, sont placées sur l'avant et sur l'arrière des cylindres; elles ont leurs axes inclinés. Les pistons sont plongeurs et à fourreau; ils reçoivent leur mouvement des cylindres moteurs, par l'intermédiaire de petites bielles articulées sur les oreilles que portent ces derniers.

Ce type de machine est très-facile à surveiller et à visiter; la manœuvre est simple et prompte. On rencontre des machines de ce type sur les avisos, *le Castor*, *le Magicien* et *l'Alecton*. — Les chaudières sont du type haut réglementaire, tubulaires à retour de flamme. Les roues sont à aubes articulées.

Puissance	nominale	90ch de 300km
	indiquée	380ch de 75km
Introduction	maximum	0,65
	minimum	0,30
Pression absolue aux chaudières		2at,75
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	2dm.c,00
	de chauffe	0m.c,4600

Les machines à cylindres oscillants, construites dans les ateliers *Michel*, de *Cette*, pour des remorqueurs du port de Toulon, comportent deux cylindres verticaux dans leur position moyenne d'oscillation et placés l'un à bâbord, l'autre à tribord. — Il n'y a qu'un condenseur ordinaire, situé entre les deux cylindres, et sur l'avant de la ligne d'axe de leurs tourillons. — Une seule pompe à air aspirante élévatoire est placée dans l'axe du bâtiment et en arrière des tourillons des cylindres ; elle est inclinée sur l'avant ; le piston de cette pompe est à fourreau et reçoit son mouvement d'un vilebrequin de l'arbre intermédiaire. — La bâche est placée en dessus de la pompe à air. — Les clapets du condenseur et de la pompe à air sont circulaires et en caoutchouc ; ceux de la bâche sont rectangulaires. — L'entablement en fonte est supporté par huit colonnes en fer forgé avec croix de Saint-André à tribord et à bâbord, et quatre arcs-boutants obliques, devant et derrière ; il est relié à la coque par quatre tirants placés en diagonale dans les angles. — Chaque cylindre est desservi par deux tiroirs en coquille identiques, placés l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière ; ces deux tiroirs sont conduits par le même secteur.

On rencontre les machines du type qui nous occupe sur les remorqueurs *Milon* et *Samson*.

Puissance	nominale	30ch de 300km
	indiquée	120ch de 75km
Introduction fixe dans les cylindres		0,66
Pression absolue aux chaudières		2at,75
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	2dm.c,25
	de chauffe	0m.c,5833

N° 22, Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange : types de Ravenhill. — Ce constructeur a fourni les appareils oscillants les plus puissants qui soient sortis des ateliers anglais. Deux de ces appareils sont montés sur les paquebots à roues, *Leinster* et *Connaugt*, affectés au transport des dépêches entre l'Angleterre et l'Irlande, leur puissance nominale est de 700 chevaux et ils ont réalisé aux essais 4.750 chevaux de 75 kilogrammètres. — Ces machines comportent deux cylindres verticaux dans leur position moyenne d'oscillation ; l'ensemble reproduit l'agencement commun à toutes les machines oscillantes ; les constructeurs se sont attachés à supprimer tout organe qui ne serait pas absolument indispensable, et ont produit un type d'une grande simplicité. — Chaque cylindre est muni de deux tiroirs reportés le plus près possible des tourillons d'évacuation. Le changement de marche s'effectue à la main avec le mécanisme ordinaire. — Les condenseurs sont entre les deux cylindres ; les

pompes à air, au nombre de deux, sont à demi-fourreau et ont des clapets en caoutchouc. Les bâches sont ajustées verticalement au-dessus des pompes à air; elles sont fermées à la partie supérieure et forment ainsi de vastes réservoirs d'air. — Les pompes alimentaires sont conduites directement par les cylindres.

Ces machines sont remarquables par leurs dimensions et leur bon fonctionnement. Les cylindres ont $2^m,48$ de diamètre et $1^m,98$ de course; les roues ont un diamètre de $10^m,60$ avec une hauteur de pale de $1^m,52$.

Pression absolue aux chaudières $2^{at},75$; surface de chauffe par cheval indiqué, $0^{m.c},3317$.

M. *Ravenhill* a aussi construit, pour les bâtiments de la marine anglaise, *le Salamis* et *l'Hélicon*, des machines d'une puissance nominale de 250 chevaux à condensation par mélange, qui diffèrent peu comme disposition générale du dernier type d'Indret (n° 122_1 du *Grand Traité*). Deux tiroirs en coquille simple et à compensateur, pour chaque cylindre, sont manœuvrés par une mise en train à un seul excentrique à calage variable. — Deux pompes à air à fourreau, dont les axes sont inclinés l'un vers l'autre, sur l'arrière et sur l'avant du condenseur, sont conduites par un vilebrequin de l'arbre intermédiaire. Les axes des pompes à air ne sont pas situés dans un même plan, ce qui a permis d'éviter [comme sur *le Rapide*, ancien *Aigle* (n° 122_1 du *Grand Traité*)] de dévoyer l'une des têtes de bielle, ou d'en mettre une à fourche. Les clapets de condenseur, de la bâche et du piston de pompe à air, sont de petits clapets circulaires en caoutchouc. — Les pompes de cale et d'alimentation sont conduites par des bras boulonnés sur les cylindres à vapeur, un peu en dedans des tourillons d'introduction; ces pompes sont verticales, et leurs pistons sont à fourreau.

Les machines dont il s'agit, sont munies d'appareils de désembrayage pour affoler les roues; ces appareils consistent en disques fixés sur les arbres des roues aux lieu et place des manivelles extérieures; ils sont entourés par de forts colliers clavetés, portant un œil avec cales de touche pour la soie de manivelle. C'est par l'intermédiaire de ces colliers clavetés sur les disques, que les roues sont entraînées dans le mouvement de rotation de la machine; en enlevant les clavettes, les colliers tournent librement sur les disques et les roues sont affolées.

N° 22_3 Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type américain. — L'appareil moteur à deux cylindres oscillants, de 1.200 chevaux nominaux, du paquebot *l'Adriatic*, construit à *New-York*, et desservant une des lignes de *Southampton*, présente, au point de vue de l'accouplement des cylindres et de la distribution de vapeur, quelques particularités importantes. — Les deux cylindres sont inclinés, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, et agissent sur deux manivelles dont les soies sont réunies par une menotte de jonction. Les plans d'oscillation des axes des cylindres sont parallèles au plan longitudinal, l'un à tribord, l'autre à bâbord, et ne sont écartés de ce plan que de la quantité nécessaire pour que la menotte de jonction des soies de manivelles passe librement entre les têtes des

grandes bielles. — Par cette disposition des manivelles, on a évité le travail d'un vilebrequin dans un arbre de grandes dimensions.

Dans la position des points morts, les axes des cylindres sont inclinés l'un sur l'autre d'un angle notablement inférieur à 90°, et l'angle embrassé par la menotte est juste le complément de cette inclinaison ; il en résulte qu'à chaque révolution il y a toujours quatre points morts placés à angle droit, comme si les diamètres des points morts des cylindres étaient rectangulaires, les pistons agissant sur le même tourillon. L'avantage de la disposition dont il s'agit consiste dans la position moins inclinée des cylindres et dans la suppression de l'arbre intermédiaire.

Dans l'un des cylindres, la distribution de vapeur se fait par un tiroir que conduit une coulisse ; le point de suspension de cette coulisse est sur la tige d'un piston à vapeur dont le tiroir se manœuvre à la main. Cette petite machine auxiliaire porte un modérateur hydraulique consistant en un cylindre à eau, accolé au premier, et dans lequel se meut un piston solidaire du piston à vapeur. Un tube muni d'un robinet réunit les deux extrémités du cylindre hydraulique. Dans la manœuvre de la coulisse, il se produit dans le tube de communication un courant d'eau qu'on étrangle progressivement pour ralentir le mouvement. — Ce modérateur sert lui-même de moteur à défaut du petit cylindre à vapeur ; une petite pompe à main est disposée pour lui envoyer l'eau soit à une extrémité, soit à l'autre. — Le second cylindre de la machine est pourvu de soupapes à siége comme organes de distribution. Il possède, en outre, un tiroir de détente mû par un système de leviers venant du premier cylindre. — Il résulte de cette disposition que la machine ne se manœuvre qu'au moyen du premier cylindre qui commande le mouvement de l'autre. Lorsque le piston de ce premier cylindre s'arrête au point mort, il suffit de donner un peu de vapeur au deuxième cylindre pour que ce piston franchisse ce point, et prenne la position à mi-course, qui est la plus favorable pour le départ, soit en avant, soit en arrière.

Les condenseurs à surface sont placés en abord ; les pompes à air sont horizontales et reçoivent leur mouvement d'un arbre oscillant conduit par un excentrique monté sur l'arbre de couche. Il existe quatre pompes de circulation, à fourreau, logées dans la plaque de fondation, et mises en mouvement par l'oscillation des cylindres à vapeur, au moyen d'oreilles dont sont munis ces cylindres, et sur lesquelles viennent s'articuler les bielles des pompes. La surface totale de condensation est de 200 mètres carrés. — Diamètre des cylindres $= 2^m,50$. — Course des pistons $= 3^m,66$. — Nombre de tours = 15. — Les chaudières sont du système américain, type Martin (n° 61_1). — L'ensemble de l'appareil ne paraît pas avoir donné de très-bons résultats.

N° 22₄ Machines ordinaires, oscillantes verticales droites (à roues), avec condensation par mélange ou par surface : types de J. Watt. — L'usine *James Watt et Cie, de Soho (près Birminghan)*, a construit un type à deux cylindres oscillants qui diffère peu du type ordinaire. Les tiroirs, au nombre de deux pour chaque cylindre, sont à double orifice et sont manœuvrés au moyen d'un secteur

Stephenson. Deux condenseurs par mélange sont placés entre les deux cylindres. Les pompes à air à fourreau, inclinées l'une vers l'autre, ont leurs axes situés dans un même plan. Les deux bielles qui conduisent leurs pistons ont une tête commune sur laquelle l'une des bielles est fixée, et la seconde articulée. Il n'y a qu'un seul clapet circulaire en caoutchouc sur chaque piston de pompe à air. Les petites pompes reçoivent leur mouvement de bras fixés sur les tourillons extérieurs des cylindres. — Un exemplaire de ce type, d'une force nominale de 300 chevaux, a été placé sur le bâtiment à hélice en fer l'*Abigaïl*.

MM. *Watt et C*[ie] ont fourni au gouvernement *brésilien* des machines d'une puissance nominale de 260 chevaux, à deux cylindres oscillants avec condenseur à surface. La disposition des tiroirs et de la mise en train est exactement la même que sur l'*Abigaïl*. Il n'y a qu'un condenseur pour les deux cylindres; ce condenseur est placé au milieu du bâtiment dans le sens transversal, et accolé au bâti inférieur de la machine. L'un des cylindres à vapeur conduit la pompe à air, et l'autre la pompe de circulation. Ces pompes sont horizontales, à double effet et à piston plongeur se mouvant dans un cylindre très-court qui sépare les deux boîtes à clapets. Elles sont placées au-dessous de la plaque de fondation, et sont conduites chacune par un bras fixé sur le tourillon intérieur du cylindre à vapeur; à l'extrémité de ce bras est articulé un coulisseau qui glisse dans un cadre venu de forge avec la tige du piston. Deux douilles fixées sur la plaque de fondation, et dans lesquelles passe cette tige, achèvent de la guider convenablement. Les tubes du condenseur sont verticaux. La vapeur les parcourt intérieurement de haut en bas. De petites vannes sont disposées pour permettre de marcher avec la condensation par mélange.

N° 22. Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Rennie. — MM. *J. et G. Rennie*, *de Blackfriars-Road*, *Londres*, ont confectionné pour le *Nyanza*, appartenant à la *Compagnie péninsulaire et orientale*, une machine à deux cylindres oscillants de 450 chevaux, munie de condenseurs à surface, qui diffère sensiblement du type précédent pour ce qui a trait à la condensation. Les condenseurs (un par cylindre) sont placés sur le côté de la chambre des machines près de la muraille du bâtiment; et les pompes à air, inclinées l'une vers l'autre, reçoivent leur mouvement de grands excentriques fixés au milieu de l'arbre intermédiaire. Ces excentriques, d'une course de 0^m,838, ont un diamètre de 1^m,575, celui de l'arbre étant de 0^m,558. Ce sont, sans aucun doute, les plus grands qui aient encore été construits. Les tubes des condenseurs sont verticaux; la vapeur passe à l'intérieur, et l'eau de circulation, qui les entoure, est refoulée par des pompes centrifuges conduites par des machines auxiliaires à grande vitesse. On peut marcher en condensant par contact ou par mélange. — Une disposition caractéristique de ces machines est que l'introduction se fait par des tourillons intérieurs, et l'évacuation par les tourillons extérieurs qui sont les plus rapprochés des condenseurs. Ces appareils sont munis d'un organe de détente à orifices multiples.

Puissance indiquée	2.304^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières	$2^{at},75$
Surface refroidissante par cheval indiqué	$0^{m.c},2570$

N° 22_6 Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Day, Lamb et Summers. — L'usine *Day, Lamb et Summers, de Southampton*, a construit, pour le *Syria*, bâtiment appartenant à la *Compagnie péninsulaire et orientale*, et de même type que le *Nyanza*, un appareil de 450 chevaux à deux cylindres oscillants et avec condenseurs à surface, qui diffère peu de celui du *Nyanza* construit par *Rennie*. Les deux condenseurs sont placés en abord près de la muraille du bâtiment et un peu sur l'avant des axes des tourillons des cylindres à vapeur. Des deux grandes pompes des condenseurs, qui sont à fourreau et conduites par un vilebrequin de l'arbre intermédiaire, l'une sert de pompe à air, et l'autre de pompe de circulation. Ces deux pompes desservent les deux condenseurs à la fois. La vapeur arrive à la partie supérieure des tubes, qui sont verticaux, passe à l'intérieur de ceux-ci et est enlevée par la pompe à air. L'eau de circulation arrive aussi à la partie supérieure du condenseur; elle est enlevée à la partie inférieure par la pompe de circulation qui agit par aspiration. Les pistons des pompes du condenseur portent un seul clapet circulaire en caoutchouc; pour l'aspiration et pour le refoulement, il n'y a également qu'un seul clapet de même forme. — Comme sur le *Nyanza*, ce sont les tourillons extérieurs qui servent à l'évacuation. Ces machines ont donné de très-bons résultats. La suppression des grands excentriques qui, sur le type de *MM. Rennie*, donnent le mouvement aux pompes des condenseurs, est très-avantageuse.

N° 22_7 Machine ordinaire, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : type de Jüngermann. — Ce type de machines est celui qui a été appliqué sur le yacht allemand *le Hohenzolern*. Il diffère peu dans son ensemble des autres types oscillants. Les cylindres sont munis de chemises de vapeur; chacun d'eux est desservi par deux tiroirs ordinaires en coquille, conduits par des secteurs, et avec l'intermédiaire obligé de l'arc de Penn. Les bielles de suspension de ces secteurs sont actionnées par une petite machine à vapeur. Il existe, pour chaque cylindre, un organe de détente variable placé en avant du tourillon d'introduction. — Deux condenseurs tubulaires sont placés sur l'avant de la machine; ils ont la forme rectangulaire; la vapeur passe dans les tubes. L'eau de circulation est refoulée entre les tubes par deux pompes centrifuges actionnées par une petite machine à deux cylindres; le tout est placé entre les deux condenseurs. — La plaque de fondation a la forme ordinaire, et renferme deux condenseurs par mélange dont on peut faire usage au besoin, et qui servent en temps ordinaire de réservoir inférieur aux condenseurs à surface. Les pompes à air sont logées entre les condenseurs par mélange; elles sont inclinées, à simple effet, et leurs pistons sont conduits par un vilebrequin de l'arbre de couche. — Les pompes alimentaires et les pompes de cale, deux par espèce, sont conduites

par des oreilles des cylindres; elles sont à simple effet et à fourreau, avec corps de pompes inclinés.

La vapeur est fournie par six chaudières formant deux chaufferies longitudinales, de 12 fourneaux sur l'avant et de 10 sur l'arrière de la machine. — Les roues sont à pales articulées.

Puissance indiquée		3.000^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières		3^{at},00
Introduction, variable		0,6 à 0,2
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,28
	de chauffe	0$^{m.c}$,3500
	refroidissante	0$^{m.c}$,2330

N° 22_8 Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à roues), avec condensation par surface : type de Rennie. — Un type de machines à roues, horizontales à bielle directe et à 2 cylindres, a été construit par l'usine *Rennie* pour plusieurs bâtiments fluviaux appartenant à la *Compagnie de navigation à vapeur de l'Euphrate.* Les axes des cylindres passent par l'axe de l'arbre des roues. Les tiroirs, en coquille ordinaire, sont sur les côtés des cylindres et en dedans; ils sont conduits par des secteurs. — Un seul condenseur à surface à tubes verticaux placé entre les deux cylindres dans le sens transversal, et entre les cylindres et l'arbre dans le sens longitudinal, est tout à fait en dessous des bâtis qui réunissent les cylindres aux paliers de l'arbre. Les pompes à air et de circulation sont verticales et à fourreau; elles sont situées directement au-dessous de l'arbre, entre les deux machines. Ces pompes sont conduites par des excentriques. Sur les colliers des bielles de ces excentriques sont articulées de petites tringles qui donnent le mouvement aux pompes de cale et d'alimentation.

Le *Dijleh* possède un appareil du genre que nous venons de décrire, d'une force nominale de 70 chevaux et ayant développé 233 chevaux indiqués. — Les aubes des roues sont articulées. — Il n'y a de neuf dans ce type que l'application de la condensation par surface, car nous avons donné, au n° 123 du *Grand Traité,* la description d'appareils horizontaux à bielle directe conduisant des roues, fournis par le *Creusot* à la navigation fluviale.

N° 22_9 Machines Woolf, inclinées droites à bielle directe (à roues), avec condensation par surface : Types du Creusot et de Normand. — Deux machines *Compound,* à bielle directe et à roues, ont été construites pour la marine française, par l'usine du *Creusot.* Chaque appareil a deux cylindres fixes, inclinés à 45 degrés, les fonds sur l'arrière; le petit cylindre ou cylindre *admetteur* à bâbord, le grand cylindre ou cylindre *détendeur* à tribord. Ces organes sont munis de chemises de vapeur indépendantes et communiquant directement avec les chaudières. Le cy-

lindre admetteur possède, en outre, une deuxième enveloppe qui lui sert de conduit d'évacuation, et qui forme la boîte à tiroir du cylindre détendeur en se boulonnant sur la table de ce cylindre. Les pistons agissent sur des manivelles calées à 90 degrés, et comme les ouvertures d'introduction du cylindre détendeur ne correspondent pas aux ouvertures de l'évacuation du cylindre admetteur, l'enveloppe dont il vient d'être question sert de réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. La vapeur est employée à haute pression; elle travaille d'abord dans le cylindre admetteur, où elle est introduite par un tiroir placé sur le côté extérieur de ce cylindre. A l'évacuation du cylindre admetteur, la vapeur se répand dans sa deuxième enveloppe, et est distribuée dans le grand cylindre où elle travaille en se détendant. Du cylindre détendeur, la vapeur est évacuée dans un condenseur tubulaire. Les deux tiroirs sont en coquille, sans compensateur; celui du cylindre admetteur est simple; celui du cylindre détendeur est à double orifice. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs qui ont un arbre de relevage commun. L'introduction est de 0,7 dans le cylindre admetteur et peut être réduite à 0,45 par un organe de détente à plaque, situé sur le côté de la boîte à tiroir, et qui est conduit par un excentrique à calage variable. L'introduction fixe dans le cylindre détendeur est de 0,65. Une petite soupape, placée sur le fond de la boîte à tiroir du cylindre admetteur, permet d'envoyer directement la vapeur dans l'enveloppe d'évacuation de ce cylindre, soit pour réchauffer le cylindre détendeur, soit pour assurer le balancement et la mise en marche de l'appareil moteur.

L'arbre de couche est porté par un entablement en fonte, soutenu par huit colonnes en acier qui reposent sur la plaque de fondation; cet entablement est relié aux cylindres par les glissières. Le condenseur a la forme rectangulaire et contient trois faisceaux de tubes horizontaux que la vapeur contourne; ce récipient est placé sur l'avant des cylindres, au-dessous de leurs glissières. Un robinet d'injection directe permet d'introduire l'eau de la mer dans la chambre à vapeur du condenseur, pour réparer les pertes d'eau douce. La pompe à air est à simple effet et à fourreau; elle est placée à bâbord, au-dessous de l'arbre; sa partie inférieure est formée par la plaque de fondation; son piston est conduit par un excentrique monté sur l'arbre de la roue. La bâche est constituée par un espace annulaire qui entoure la pompe à air et qui fait partie de la plaque de fondation. L'eau de circulation est envoyée dans le condenseur par une

pompe centrifuge que commande une petite machine horizontale à bielle directe, par l'intermédiaire d'une courroie. Une prise d'eau spéciale permet d'utiliser la pompe de circulation comme pompe de cale. Il existe deux pompes alimentaires et deux pompes de cale placées à tribord, à côté du cylindre détendeur. Ces pompes sont conduites par un balancier mis en mouvement par un excentrique monté sur l'arbre des roues. — La chaudière est cylindrique, avec trois foyers intérieurs et sécheur à la base de la cheminée. Elle possède, comme appareil auxiliaire d'alimentation, une petite pompe rotative système Behrens (n° 64_4).

On rencontre les machines du type qui nous occupe sur les avisos à roues *Antilope* et *Pétrel.*

Puissance	nominale	80^{ch} de 300^{km}
	indiquée	320^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindre admetteur	0,7 à 0,45
	cylindre détendeur	0,65
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,265 à 0,170
Pression absolue aux chaudières		5^{at},00
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c}$,80
	de chauffe	$0^{m.c}$,4531
	refroidissante	$0^{m.c}$,3475

M. Normand du Havre a construit pour le petit paquebot *l'Hirondelle*, une machine Woolf à roues dont le poids et l'encombrement sont considérablement réduits. Les deux cylindres sont placés l'un sur l'autre, presque dans le plan longitudinal du bâtiment, et ont leurs axes, dont le prolongement rencontre d'ailleurs l'axe de l'arbre, légèrement alternés. Le cylindre admetteur est en-dessus, et son axe est presque horizontal; le cylindre détendeur est en-dessous, et son axe est très-incliné. Le volume assez irrégulier compris entre les deux cylindres sert de réservoir intermédiaire. Il n'existe pas de chemise de vapeur aux cylindres, mais seulement des enveloppes isolantes. Cette circonstance n'est admissible qu'en vue de la réduction de poids, et le degré de détente ne dépassant pas 4, avec de la vapeur légèrement surchauffée. — L'entablement est supporté par quatre colonnes en acier, et sa partie avant s'appuie contre un fort bau transversal. La partie arrière de cet entablement forme deux branches qui viennent se boulonner sur les couvercles des cylindres. La transmission de mouvement est à bielle directe; les glissières sont ménagées dans les deux branches de l'entablement. Les bielles ont leur pied à fourche, et les axes sont légèrement dévoyés par rapport à ceux des cylindres, tout en leur restant parallèles; les têtes de bielles sont simples et à chappe. L'arbre est en deux parties seulement; chacune d'elles repose sur un palier extérieur et sur un palier de l'entablement. Dans l'évidement de ce dernier, entre les deux paliers, se trouvent deux manivelles, une pour chaque

arbre, dont les soies sont reliées par une menotte placée entre les têtes des bielles. La longueur de cette menotte est combinée avec l'inclinaison des axes des cylindres, pour que les quatre points morts soient deux à deux à 90°. — Les tiroirs sont en coquille ; ils sont conduits par des secteurs dont les excentriques sont montés côte à côte sur l'arbre de bâbord, en dehors de l'entablement. Le changement de suspension des secteurs s'effectue au moyen d'un système de leviers montés sur un arbre de relevage commun et actionné par une vis et un volant. On introduit directement dans le réservoir intermédiaire pour faciliter la mise en marche.

Un condenseur à surface de forme rectangulaire est placé en travers, sur l'avant des cylindres et au-dessous de l'entablement. Les tubes ne forment qu'un seul groupe que la vapeur contourne et que l'eau de circulation traverse. La jonction des tubes sur chaque plaque de tête est faite au moyen d'une plaque de caoutchouc serrée par une plaque en bronze très-épaisse. Les tubes font saillie sur la plaque de tête et les bouts sont logés dans des cavités cylindriques, d'un diamètre un peu plus grand et d'une hauteur égale au diamètre du tube, pratiquées dans la plaque de serrage. Les intervalles libres autour des tubes sont destinés à recevoir le caoutchouc refoulé par cette dernière plaque. Les cavités cylindriques de la plaque de serrage sont prolongées par des troncs de cône dont la petite base est égale au diamètre intérieur des tubes, et dont la grande base vaut une fois et demi ce diamètre. La hauteur des troncs de cône est d'environ deux fois le diamètre d'un tube. Cette disposition a pour but de faciliter la circulation de l'eau froide.

La pompe à air est aspirante élévatoire, avec une tige formant fourreau. Elle est placée sur l'avant du condenseur et son piston est commandé par la traverse de piston du cylindre détendeur, au moyen de bielles et de leviers, ces derniers étant montés sur un arbre horizontal dont les paliers sont venus de fonte avec le condenseur. — La bâche à eau douce est sur l'avant de la pompe à air, droit au-dessous de l'arbre. — Il n'existe pas de pompe de circulation ; l'eau froide est refoulée dans le condenseur par la vitesse du navire. Une coquille de prise d'eau, placée à tribord, un peu sur l'avant du travers de l'arbre, est prolongée dans le navire par un canal qui s'incline sur l'arrière en s'arrondissant, et qui vient aboutir au condenseur. A bâbord, il existe un autre canal dont la courbure est inverse de celle du premier, et qui s'incline encore sur l'arrière pour aboutir à l'orifice de sortie. Chaque canal est muni d'un obturateur, et celui de bâbord possède un tuyau de vapeur, faisant office de giffard, et qui détermine la circulation de l'eau froide au moment de l'appareillage. D'après les constatations faites aux essais, la vitesse de circulation de l'eau, à toute vitesse, est les 0,30 de celle du navire. Le vide atteint 68 centimètres de mercure.

Deux pompes alimentaires et une pompe de cale, à piston plongeur et à fourreau, sont placées à côté de la pompe à air, à tribord. Les pistons sont actionnés par un levier monté sur l'arbre de la pompe à air. — La chaudière est en tôle d'acier.

Cette machine est d'une grande légèreté, et néanmoins très-solide ; eu

égard à sa position centrale dans le bâtiment, elle est presque complétement à l'abri de l'influence des déformations du navire.

Puissance indiquée		400ch de 75km
Introduction à tous les cylindres		0,68
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple		0,25
Nombre de tours par minute		47
Pression absolue aux chaudières		3at,30
Par cheval indiqué de 75km sur les pistons	surface de grille	1dm.c,08
	surface de chauffe	0m.c,3160
	surface refroidissante	0m.c,2040
	poids estimé de l'eau de circulation par heure	1.075kg

N° 22_{10} Machine Woolf, oscillante verticale droite (à roues), avec condensation par surface : Type de Penn. — Les machines ordinaires à deux cylindres oscillants du vapeur *Fayoum*, appartenant au *vice-roi d'Égypte*, construites par *Penn*, ont été modifiées dans le système Woolf par le même constructeur, avec addition d'un condenseur par surface. — Les deux cylindres primitifs avaient 1m,675 de diamètre, 1m,828 de course, et recevaient la vapeur à une pression de 2at,75. Les nouveaux cylindres ont conservé la même course de piston, mais leurs diamètres sont : 1m,447 pour le cylindre admetteur et 2m,412 pour le cylindre détendeur; de plus, la pression de la vapeur a été portée à 5at,75. — La machine est pourvue d'un organe de détente pour le cylindre admetteur, et l'introduction peut varier de 0,40 à 0,166. L'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, peut par suite varier de 0,15 à 0,06. — L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes du condenseur par une pompe centrifuge mue par une machine spéciale.

La vapeur est fournie par quatre chaudières cylindriques. Aux essais à vitesse réduite, la dépense de combustible a été trouvée de 0kg,86 par cheval indiqué et par heure. — Comparativement à l'ancien appareil, la dépense en service courant a été réduite de plus de moitié.

CHAP. II, § 3. DESCRIPTION DES TYPES RÉCENTS DE MACHINES ORDINAIRES A HÉLICE.

N° 23. — 1. Machine double ordinaire, à pilon (à deux hélices), avec condensation par surface : type des Chantiers et ateliers de l'Océan. — 2. Machines ordinaires, à pilon (à hélice), sans condensation ou avec condensation par surface : types des forges et chantiers de la Méditerranée. — 3. Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par mélange : type d'Indret. — 4. Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Caird. — 5. Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Napier. — 6. Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface ou par mélange : types de Penn, de Randolph et Elder, d'Inglis, de Jack et de Courlay. — 7. Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Todd et Mac Gregor. — 8. Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Morrison, Robert et C°. — 9. Machines ordinaires,

à pilon (à hélice), avec condensation par mélange : type de Richardson. — 10. Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Laird, de Denny et de Chrichton.

N° 23, Machine double ordinaire, à pilon (à deux hélices), avec condensation par surface : type des chantiers et ateliers de l'Océan. — Ce type comporte deux machines distinctes, ayant chacune deux cylindres dont les manivelles sont calées à angle droit; ces machines conduisent deux hélices indépendantes. — La condensation s'opère par surface; il n'y a qu'un condenseur par machine. — Les cylindres sont réunis deux à deux et sont supportés par le condenseur et par deux bâtis; ils sont munis d'une enveloppe dans laquelle passe la vapeur avant d'arriver aux registres. — Les plaques de fondation des deux machines sont boulonnées ensemble; elles portent directement les condenseurs et les bâtis. Dans chaque machine, les pompes à air et les paliers de l'arbre sont venus de fonte avec la plaque de fondation, ainsi qu'une capacité dans laquelle se rend l'eau produite par la condensation. — Les tiroirs fonctionnent comme des tiroirs en D; mais ils ont la forme des tiroirs en coquille, et sont munis d'une garniture de compensateur pressée par des ressorts qui empêchent les tiroirs de se décoller. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs; ils sont placés à l'opposé des faces de contact des cylindres. Les orifices du bas, c'est-à-dire ceux qui sont opposés à l'arbre, ont leurs arêtes d'introduction de forme triangulaire; de cette façon l'action de l'avance à l'introduction est modérée, et la quantité de vapeur introduite dans les cylindres est plus faible quand les pistons s'abaissent que quand ils s'élèvent, ce qui compense l'action du poids de ces pistons. — Il n'y a pas d'organe spécial de détente variable autre que les secteurs de renversement de marche, qui permettent de diminuer l'introduction jusqu'à 0,45.

Les pistons sont en fer forgé d'une seule pièce, sans couronnes rapportées; ils ont des rainures circulaires dans lesquelles on fait pénétrer les bagues en les ouvrant; des ressorts appliquent ces bagues contre le cylindre. — Les tiges de pistons, au nombre de deux par cylindre, sont en acier; elles se fixent sur une traverse guidée par deux doubles glissières. Les manivelles sont équilibrées. — Dans chaque machine, le condenseur est placé en abord du cylindre et au-dessous; les tubes sont verticaux et en deux faisceaux; la vapeur les contourne. — L'eau de circulation est refoulée par une pompe horizontale à double effet, placée sur l'avant de la machine, et conduite par un excentrique; les courants d'eau et de vapeur marchent en sens contraire. — Les pompes à air, au nombre de deux par machine, sont verticales et à simple effet; elles sont placées au-dessous et à côté de chaque cylindre, vers le milieu du navire. Les pistons de ces pompes sont conduits chacun par deux balanciers mis en mouvement par les traverses des pistons moteurs. — Les bâches à eau douce ont une décharge accidentelle.

Les pompes alimentaires sont verticales et à piston plongeur; elles sont placées sur l'avant au-dessous de l'arbre; les pistons sont conduits par des excentriques. — Les pompes de cale sont sur l'arrière, disposées

symétriquement par rapport aux pompes alimentaires. — Une grande pompe à vapeur du système américain *Leed* et *Larned* (n° 63_2), et tout à fait indépendante de l'appareil moteur, est placée sur l'arrière des machines; cette pompe est destinée à faire face à une voie d'eau.

Ce type, qui se trouve sur l'aviso *l'Hirondelle*, est parfaitement réussi et a donné de très-bons résultats. Ajoutons que chaque machine est pourvue d'un régulateur hydraulique qui fonctionne sous l'action du refoulement de la pompe de circulation (n° 33_1). La vapeur a été fournie, jusqu'à ces dernières années, par des générateurs Belleville (n° 61_4) en douze corps.

Puissance	nominale	450^{ch} de 300^{km}
	indiquée	1.800^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières		$5^{at},00$
Introduction	variable de	0,65 à 0,45
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},75$
	de chauffe	$0^{m.c},5194$
	refroidissante	$0^{m.c},2673$
Consommat^{n} de charbon par heure et par cheval indiqué		$1^{kg},120$

Actuellement, les machines de l'*Hirondelle* fonctionnent au Woolf. Un petit cylindre a été placé sur chacun des grands, avec un diamètre moitié de celui de ce dernier. Le régulateur hydraulique a été supprimé, et les pompes à air, qui étaient à piston plongeur, sont maintenant à fourreau. D'autre part, la vapeur est fournie par quatre chaudières cylindriques à deux foyers, type réglementaire (n° 60_2).

Pression absolue aux chaudières		$5^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},07$
	de chauffe	$0^{m.c},2752$
Consommation de charbon par heure et par cheval indiqué		$0^{kg},970$

N° 23_2 Machines ordinaires, à pilon (à hélice), sans condensation ou avec condensation par surface : types des forges et chantiers de la Méditerranée. — Les *forges et chantiers* ont construit un grand nombre de machines à pilon à un seul cylindre pour des canonnières appartenant à la marine française. Ces machines, de la force de 12 chevaux de 300 kilogrammètres, fonctionnent à haute pression et sans condensation. — Le distributeur est un tiroir en coquille simple conduit par un secteur; il n'existe pas d'organe de détente variable. — Ces machines sont alimentées par des chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme.

Pression absolue aux chaudières		$4^{at},75$
Introduction		0,75
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$3^{dm.c},85$
	de chauffe	$0^{m.c},8645$

Les *forges et chantiers* ont construit sur le même type des appareils de 15 chevaux de 300 kilogrammètres pour des canonnières démontables. —

Ces machines, qui ne comportent également qu'un seul cylindre, sont munies d'un condenseur à surface, destiné à fonctionner pour le cas de navigation dans l'eau salée. Lorsque le condenseur ne fonctionne pas, l'évacuation se fait dans la cheminée.

Pression absolue aux chaudières		$5^{at},00$
Introduction		0,70
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$3^{dm.c},03$
	de chauffe	$0^{m.c},7166$
	refroidissante	$0^{m.c},2333$

Citons encore les machines à deux cylindres de 120 chevaux de 225 kilogrammètres, construites pour les porteurs de minerai appartenant à la *Compagnie générale des transports maritimes*, et dans lesquelles la condensation s'effectue à volonté par contact ou par mélange. — Enfin les machines de 60 chevaux de 225 kilogrammètres, montées sur les porteurs de vase qui ont fait le service du canal de Suez, et qui ont deux cylindres commandant chacun une hélice et fonctionnant à haute pression sans condensation.

Toutes ces machines sont d'une grande simplicité de construction; elles sont robustes, et la plupart ont déjà fait un service très-actif sans aucune avarie.

N° 22, Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par mélange : type d'Indret. — Ce type comporte deux appareils distincts à deux cylindres, menant chacun une hélice. Il n'existe qu'une seule plaque de fondation pour les deux machines; les cylindres sont supportés par des bâtis en fonte formant glissière; les pieds de bielle sont à fourche; chaque arbre moteur a quatre paliers. — Les tiroirs à double orifice, sans compensateur, sont munis de contre-tiges; ils sont placés entre les deux cylindres dans une boîte commune qui relie ces deux récipients. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs qui permettent de faire varier l'introduction. Chaque secteur est formé d'un seul arc qui s'engage dans un genou cylindrique en bronze porté par la tige de tiroir. — Le conduit de vapeur venant des chaudières se bifurque entre les deux machines; il y a un registre pour chaque appareil. — Les bâtis inférieurs en abord forment condenseur et communiquent avec un compartiment de la plaque de fondation; la condensation s'opère par mélange. Il n'existe qu'une seule pompe à air par machine; elle est à simple effet; tous les clapets sont en caoutchouc. Cette pompe est conduite par un double balancier dont les flasques, en fer forgé, reçoivent leur mouvement d'une traverse de piston; ce balancier mène aussi les pompes alimentaires et les pompes de cale.

On rencontre une machine de ce type sur l'aviso *Bruix*.

Puissance des deux appareils	nominale	150^{ch} de 300^{km}
	indiquée	600^{ch} de 75^{km}
Introduction		0,73 à 0,50
Pression absolue aux chaudières		$2^{at},75$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},58$
	de chauffe	$0^{m.c},4063$

Sect. 1, Pl. I. **N° 23_4 Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Caird.** — Le type *Caird*, représenté en *sect.* 1, *pl.* I, a été appliqué sur un grand nombre de paquebots du commerce. La légende adjointe à la *pl.* I donne une description suffisamment détaillée de ce type; nous ajouterons seulement quelques explications. — L'appareil complet comporte deux cylindres montés sur des bâtis évasés à leur partie inférieure, pour livrer passage à la manivelle. Les cylindres sont reliés entre eux par les boîtes à tiroirs et la boîte commune aux organes de détente variable, qui se trouvent placés entre ces deux récipients. — Les tiges de piston sont coniques à leur emmanchement et sont retenues par des écrous. Chaque tête de tige de piston porte un palier venu de forge avec cette tige et sur lequel sont rapportés les coulisseaux. La glissière est formée par les bâtis. Les pieds des grandes bielles sont à fourche et portent eux-mêmes leurs tourillons; ces derniers oscillent dans les paliers de tige de piston.

Les tiroirs sont en coquille à double orifice sans compensateur; ils sont conduits par des secteurs qui ont un arbre de relevage commun. Cet arbre reçoit son mouvement d'un volant de mise en train par l'intermédiaire d'un engrenage. — Les organes de détente sont des plaques à orifices multiples; ils sont conduits par des secteurs dont le changement de suspension fait varier le degré d'introduction depuis 0,5 jusqu'à 0,3 de la course. Il n'y a pas de système de déclanchement. — Le conduit d'arrivée de vapeur débouche dans la boîte commune aux deux organes de détente. L'introduction fixe réglée par les tiroirs est en moyenne de 0,7; mais comme les organes de détente variable ne se déclanchent pas, il en résulte que pour la marche à toute puissance l'introduction maximum est de 0,5 de la course.

Il n'existe qu'un seul condenseur tubulaire placé à tribord; les tubes forment deux faisceaux pour la circulation de l'eau refroidissante. — Ce condenseur est desservi par deux pompes à air aspirantes élévatoires; les pistons de ces pompes sont à fourreau et reçoivent leur mouvement des tourillons des pieds de bielle par l'intermédiaire de balancier en tôle *k*, *fig.* 1 et 3, dont les flasques embrassent le bâti. Ces balanciers conduisent également les pompes alimentaires et les pompes de cale. — La pompe de circulation est à double effet; elle agit par refoulement à travers les tubes du condenseur. Cette pompe est conduite par un bouton excentré qui termine l'arbre moteur, et au moyen d'un cadre que ce bouton met en mouvement. — A sa sortie des cylindres, la vapeur pénètre dans le condenseur par les conduits E', *fig.* 1, et arrive dans une coquille que forme au-dessus des tubes la partie supérieure de ce condenseur. Cette vapeur contourne successivement tous les tubes qui la refroidissent et tombe à l'état liquide dans un compartiment inférieur où puisent les pompes à air. L'eau froide suit une marche inverse de celle de la vapeur. — La bâche à eau douce est complétement fermée à l'air libre; elle communique avec le tuyau de refoulement de la pompe de circulation par l'intermédiaire d'une décharge accidentelle D_e, munie d'un clapet qui est maintenu sur son siége par un ressort à boudin. Ce clapet s'ouvre au

refoulement de la pompe à air pour laisser échapper l'excès d'air ou d'eau contenu dans la bâche.

Le type qui nous occupe est accessible dans toutes ses parties; la forme des bâtis est très-favorable à la stabilité. Les condenseurs sont suffisamment éloignés des cylindres et les rentrées d'air par les joints sont peu à craindre. — Ce type de machines a été appliqué sur un grand nombre de bâtiments de commerce anglais et autres, et dont plusieurs appartiennent à la *Compagnie marseillaise de navigation à vapeur* (*Marc Fraissinet père et fils*).

N° 23_5 Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Napier. — Les machines des paquebots transatlantiques, *Pereire* et *Ville de Paris*, construites par *Napier*, sont les appareils les plus puissants qui aient été faits dans le type à pilon. Ils comportent deux cylindres reliés par les boîtes à tiroirs et la boîte à détente. Chaque cylindre est supporté par deux forts bâtis creux à section rectangulaire, formant glissière et évasés par le bas pour livrer passage au coude de l'arbre; ces bâtis reposent sur une plaque de fondation. — L'arbre moteur est en deux parties, avec jonction au milieu de sa longueur, entre les deux coudes; il est supporté par quatre paliers dont les coussinets sont en bronze, sans antifriction. — Chaque tête de tige de piston est terminée par un palier qui embrasse le tourillon porté par le pied à fourche de la grande bielle. — Les tiroirs sont en coquille à double orifice; ils sont conduits par des secteurs horizontaux, formés d'un seul arc en deux parties juxtaposées; cet arc traverse une mortaise garnie de coussinets, qui est pratiquée dans la tige du tiroir. Les bielles de suspension des secteurs sont reliées à une traverse commune que met en mouvement une forte tige taraudée à filets carrés; on fait tourner cette tige au moyen d'un engrenage et d'un volant. Le déplacement des secteurs est aidé par le piston d'un petit cylindre à vapeur; la tige de ce piston agit directement sur la traverse commune aux bielles de suspension. Le frottement de la vis et celui de l'engrenage sont suffisants pour empêcher le volant de tourner sous l'action de la vapeur; mais il suffit d'un seul homme agissant sur le volant pour changer rapidement la suspension des secteurs; le volant s'arrête dès que l'homme cesse d'agir. — Les organes de détente variable sont des plaques à orifices multiples, situées dans une boîte commune où débouche le tuyau de vapeur.

Deux condenseurs tubulaires, indépendants des cylindres et des bâtis, sont placés à tribord sur la plaque de fondation. Les tubes sont horizontaux; la vapeur les contourne. Ces tubes sont rendus étanches par une plaque en caoutchouc qu'ils traversent à force, dans des trous plus petits que leur diamètre; cette plaque de caoutchouc s'étend sur toute la surface de la plaque de tête; elle est fortement serrée sur cette dernière par une plaque démontable. — Les pompes de circulation sont horizontales à double effet et à fourreau; elles agissent par refoulement à travers les tubes. Ces pompes sont placées, l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière; la première est conduite par un bouton excentré du bout de l'arbre; la seconde, par un excentrique. — Les pompes à air sont verticales et à

simple effet; elles sont conduites par des balanciers doubles en tôle, qui reçoivent leur mouvement des tourillons de pied de bielle. Tous les clapets sont circulaires et en caoutchouc. Les pompes à air ont un volume suffisant pour que la condensation puisse être effectuée par mélange en cas d'avarie des tubes; chaque condenseur est muni d'une injection ordinaire, et les bâches peuvent communiquer avec le tuyau de refoulement des pompes de circulation. — Les pompes alimentaires et les pompes de cale sont conduites par les traverses des tiges de pompe à air.

Ce type, d'une construction très-hardie, est remarquable par sa solidité, malgré sa puissance et l'élévation considérable des cylindres au-dessus de la plaque de fondation. Ces derniers récipients sont d'ailleurs parfaitement isolés des condenseurs, avec lesquels ils ne communiquent que par les tuyaux d'évacuation. Toutes les parties de l'appareil sont accessibles et d'une surveillance facile.

Puissance	nominale	1.000ch
	indiquée	3.400ch de 75km
Introduction		0,65
Pression absolue aux chaudières		2at,5
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	1dm.c,50
	de chauffe	0m.c,4483
	refroidissante	0m.c,3212

Dans ces derniers temps, les machines de la *Ville de Paris* et du *Pereire* ont été transformées en machine de Woolf, par l'adjonction d'un cylindre admetteur pour chacun des anciens cylindres, qui sont ainsi devenus détendeurs. La pression de la vapeur aux chaudières a été augmentée.

N° 23_6 Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par surface ou par mélange : types de Penn, de Randolph et Elder, d'Inglis, de Jack et de Courlay. — Dans tous ces types, les tiroirs sont placés entre les deux cylindres, tantôt dans une boîte commune avec les organes de détente sur leur dos, tantôt dans des boîtes séparées, qui, dans tous les cas, relient les deux cylindres entre eux. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs. On rencontre les machines de ces divers types dans un grand nombre de bâtiments du commerce anglais et sur quelques paquebots.

Les machines de *Randolph et Elder* et celles de *Penn* ressemblent, dans leurs dispositions essentielles, au type *Caird* décrit ci-dessus (n° 23_4). — Il n'existe qu'un condenseur à surface faisant partie des bâtis; les tubes sont horizontaux et la vapeur les contourne. La pompe à air et la pompe de circulation sont conduites par des balanciers comme dans le type précité. — Dans le type de *Penn*, l'eau de circulation est refoulée par une pompe rotative. — Les bâches ont un tuyau de décharge, et les condenseurs sont munis d'une injection directe.

Dans le type de *Inglis, de Glascow*, les deux cylindres sont supportés par deux condenseurs tubulaires placés aux extrémités. Une traverse, réunissant les deux tiges du même piston à vapeur, reçoit les grandes bielles, ainsi que la tige d'une pompe à air, celle d'une pompe de circulation et

enfin celle d'une pompe alimentaire et d'une pompe de cale. — Cette machine est très-accessible; on ne peut lui reprocher que l'inconvénient d'une large surface de contact entre le cylindre et le condenseur. Ce défaut est amoindri en partie par une chemise de vapeur.

Dans le type de *Jack*, très-estimé du commerce anglais, chaque cylindre est supporté par un bâti formant condenseur et par deux colonnes. Les pompes à air sont menées directement par une tige spéciale du piston. Ces pompes sont accolées au condenseur et élevées au-dessus de la plaque de fondation; elles forment une partie de la glissière de la traverse du piston. La condensation s'opère par mélange. — Dans les derniers appareils construits, les bâtis sont plus écartés et servent de conduits d'évacuation dans un condenseur à surface. Les pompes à air et les pompes de circulation sont menées par des balanciers embrassant les bâtis.

Dans le type de *Courlay*, *de Dundée*, chaque cylindre est supporté par deux bâtis doubles, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, et formant un grand arc au-dessus des paliers de l'arbre; il n'y a pas d'organe de détente variable. Les pistons ont deux tiges, placées en travers de l'arbre, et qui viennent se relier à une même traverse dont l'une des extrémités conduit la pompe à air et l'autre la pompe alimentaire. — Sur le milieu de chaque traverse, et entre les deux tiges de piston, existe un œil rectangulaire assez large pour recevoir le pied de bielle. Le tourillon de ce pied de bielle, étant prolongé avant et arrière, porte deux coulisseaux guidés dans des glissières des bâtis. — La condensation s'opère par mélange.

N° 23. Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Todd et Mac-Gregor. — Ces constructeurs ont produit un type qui présente quelques dispositions mécaniques intéressantes. — Les deux cylindres sont supportés par quatre robustes bâtis placés deux à deux dans le plan transversal de l'axe de chaque cylindre, et qui servent de glissière aux traverses de piston. Les boîtes à tiroirs et les boîtes à détente sont situées entre les cylindres qu'elles relient l'un à l'autre. Les tiroirs sont en coquille; ils sont conduits par des coulisses formées d'un seul arc rectangulaire qui s'engage, par l'intermédiaire d'un coussinet, dans un œil de la tige du tiroir. Une pièce à double équerre, rapportée au-dessous des boîtes à tiroirs, porte quatre douilles qui servent de guide aux tiges de tiroir et aux tiges de détente. Ces derniers organes sont des glissières à orifices multiples; ils sont conduits par des coulisses semblables à celles des tiroirs, et qui reçoivent leur mouvement d'un seul excentrique dont le pied de bielle est articulé à l'une des extrémités; l'autre extrémité de la coulisse de chaque organe de détente est articulée sur un tourillon dont on peut faire varier la position le long d'un secteur fixe. Le déplacement du point d'oscillation de la coulisse produit à la fois un changement de l'angle de calage et une variation de la course de l'organe de détente. — Les têtes des grandes bielles sont à palier; les pieds de ces bielles sont à fourche; elles portent leurs tourillons qui oscillent dans les paliers qui terminent les tiges de piston; les patins de glissière font corps avec ces paliers.

Le condenseur à surface fait partie des deux bâtis du même bord qui

supportent les cylindres; les tubes sont horizontaux et en trois faisceaux que l'eau traverse en passant dans les tubes. Ces derniers sont maintenus sur les plaques de tête au moyen de grandes plaques de caoutchouc dans lesquelles s'engagent les extrémités des tubes, qui les traversent par des ouvertures d'un diamètre moindre que le leur; le caoutchouc, dilaté au passage de chaque tube, forme des collerettes saillantes qui sont serrées par des plaques en bronze boulonnées sur les plaques de tête. — Les tubes sont soutenus au milieu de leur longueur par une cloison qu'ils traversent librement, et qui partage le condenseur en deux compartiments, dont chacun reçoit l'évacuation d'un cylindre, mais qui communiquent par le réservoir inférieur à eau douce. Ce réservoir se trouve dans la plaque de fondation, ainsi d'ailleurs que la pompe à air et la pompe de circulation. Ces dernières pompes sont horizontales, et leurs pistons sont conduits par un cadre qui embrasse un excentrique formé par un bras des coudes de l'arbre moteur. La pompe de circulation agit par refoulement à travers les tubes du condenseur. — Les pompes de cale et les pompes alimentaires sont disposées par paires, en face des pompes à air et en face des pompes de circulation; leurs pistons sont conduits par les mêmes cadres qui mènent ces dernières pompes, et servent de guide à ces cadres.

N° 23_8. Machine ordinaire, à pilon (à hélice), avec condensation par surface : type de Morrisson, Robert et Cie. — Le type inauguré par ces constructeurs fonctionne à une pression absolue de 4at,5 et avec une introduction variant de 0,10 à 0,15. — L'appareil comporte deux cylindres réunis par une boîte à tiroir commune; ils sont munis de chemises de vapeur. Ces cylindres sont supportés par des bâtis qui servent de glissière aux traverses de piston. Les têtes des grandes bielles sont à palier; les pieds de bielle sont à fourche, et leurs tourillons oscillent dans des paliers qui terminent les tiges de piston. Ces paliers portent les patins de glissière. — Les tiroirs sont en coquille; ils sont munis d'orifices sur lesquels se promènent des barrettes d'écartement variable formant l'organe de détente. Pour chaque organe, ces barrettes sont sur une tige taraudée avec des pas contraires; la boîte à tiroir étant commune aux deux distributeurs, les tiges des deux organes de détente portent chacune un pignon engrenant avec une roue dentée placée entre les deux; l'axe de cette roue traverse un presse-étoupe du couvercle de la boîte à tiroir et reçoit un volant. Au moyen de cette disposition, on fait tourner en même temps les deux tiges de détente et on change l'écartement de leurs barrettes. Les pignons peuvent glisser sur les tiges qui les portent; ils sont maintenus par deux flasques en fer qui les embrassent, et qui sont portées par l'axe de la roue dentée qui commande ces pignons. — Les tiroirs sont conduits par des excentriques à calage variable; il en est de même des organes de détente. On met en marche ou l'on change le mouvement au moyen de petits tiroirs spéciaux, placés à l'intérieur de la boîte de distribution et qui sont manœuvrés par des leviers extérieurs.

Il n'existe qu'un seul condenseur à tubes verticaux que la vapeur traverse. La pompe à air et la pompe de circulation sont accolées au condenseur; les cylindres de ces pompes sont verticaux et les pistons sont

conduits directement par des tiges spéciales des pistons moteurs. — Les pompes alimentaires sont reportées sur l'avant; elles sont à piston plongeur et à fourreau; leurs pistons sont conduits par un bouton excentré qui termine l'arbre.

N° 23_9 Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par mélange : type de Richardson. — Ce type est remarquable par le soin avec lequel on a évité toute pièce de gros échantillon, qui nécessiterait des moyens de fabrication ou des outils dispendieux. — Les cylindres, reliés par une boîte à tiroir commune, sont supportés par des bâtis obliques, en forme de colonnes, sur lesquels sont rapportées les glissières. Ces cylindres sont entourés d'une chemise de vapeur. — Les tiges de piston, au nombre de deux par cylindre, sont terminées par de petits paliers qui embrassent les tourillons d'une traverse, au milieu de laquelle s'articule le pied de la grande bielle. Cette traverse est fixée sur une boîte rectangulaire en fer forgé, qui embrasse la bielle et dont les côtés latéraux forment patin de glissière. — La grande bielle est formée de deux paliers, réunis par deux forts boulons qui constituent le corps de cette pièce, et dont les extrémités taraudées reçoivent des écrous pour le serrage des articulations. — Les tiroirs sont en coquille ordinaire; ils sont conduits par des coulisses doubles, embrassant un coussinet porté par un petit palier qui termine la tige du tiroir. — Il n'y a aucun organe spécial de détente variable; on peut réduire l'introduction au moyen des coulisses, jusqu'à 0,3 de la course du piston.

Il n'existe qu'un seul condenseur pour les deux cylindres; ce condenseur est placé entre les bâtis. Il est surmonté par un réservoir d'alimentation que traversent les conduits d'évacuation; de cette façon, l'eau d'alimentation recueille une partie de la chaleur abandonnée par la vapeur qui évacue les cylindres. — Chaque traverse de piston moteur conduit une pompe à air, verticale et à simple effet, placée à côté du condenseur; le mouvement est transmis par un double balancier en tôle, et par l'intermédiaire de petites bielles exactement semblables aux bielles motrices. — Les pompes de cale et les pompes alimentaires, au nombre de deux par espèce, sont conduites par les mêmes balanciers.

On rencontre ces machines sur un assez grand nombre de bâtiménts de commerce de 120 à 150 chevaux nominaux, réalisant environ de 480 à 600 chevaux indiqués de 75 kilogrammètres. — Elles sont bien disposées et paraissent fonctionner dans des conditions économiques satisfaisantes, puisqu'elles ne consomment que $1^{kg},25$ de charbon par cheval indiqué et par heure.

N° 23_{10} Machines ordinaires, à pilon (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Laird, de Denny et de Chrichton. — MM. *Laird et fils, de Birkenhead,* ont construit, pour un bâtiment à hélices jumelles, des machines doubles à pilon, à deux cylindres pour chaque machine. Les tiroirs en coquille ordinaire, placés entre les cylindres, sont conduits par des secteurs Stephenson. Un condenseur unique par mélange est placé au milieu du bâtiment entre les deux machines. La pompe à air est con-

duite par une machine auxiliaire horizontale à un seul cylindre, dont le mouvement est régularisé par deux volants. — La pompe de cale et la pompe alimentaire de chaque machine sont placées horizontalement à l'opposé l'une de l'autre, et ont leurs pistons plongeurs fixés sur une même tige transversale au bâtiment. La pompe alimentaire est près de la carlingue de quille et la pompe de cale en abord. Leur tige commune est conduite par une bielle qui reçoit son mouvement d'un bouton excentré; ce dernier est placé à l'extrémité avant de l'arbre de la machine correspondante.

L'usine de MM. *Denny et Cie, de Dumbarton*, a construit des machines de 200 à 300 chevaux nominaux qui ont été montées sur des bâtiments de 1.500 tonneaux. Ces machines sont à pilon à deux cylindres indépendants, assez éloignés l'un de l'autre, quoique reliés entre eux par un condenseur à surface qui est entre les cylindres, et sur lequel ceux-ci sont appuyés en partie. Les cylindres sont supportés, sur l'avant et sur l'arrière, par des colonnes en fer. Les tiroirs, en coquille ordinaire, sont placés par côté à l'avant et à l'arrière et sont conduits par des secteurs. Les traverses des tiges de piston à vapeur sont transversales au bâtiment et d'une grande longueur. Chaque piston est relié à sa traverse par deux tiges. En dehors de ces tiges, et de chaque côté, deux pompes sont attelées à la traverse; soit en tout huit pompes pour les deux machines. Les plus rapprochées des tiges de piston à vapeur sont deux pompes à air et deux pompes de circulation; les quatre autres servent à l'extraction de l'eau de la cale et à l'alimentation. — Le condenseur à surface est très-accessible dans toutes ses parties. La manœuvre du démontage des tubes est très-facile. — Ces machines sont bien compactes et ne prennent que 2m,75 (200 chevaux) et 3m,35 (300 chevaux) en largeur dans le bâtiment.

M. Chrichton, superintending ingineer of the Cork steamship Company, a installé sur le *Bettern*, un système particulier de condensation par surface. L'invention de M. *Chrichton* consiste à faire passer la vapeur qui évacue les cylindres dans des tuyaux extérieurs au bâtiment; cette vapeur s'y condense et l'eau est enlevée à l'extrémité de ces tuyaux par une pompe à air. Le *Bettern*, steamer à hélice, est pourvu d'une machine à pilon de 110 chevaux nominaux à 2 cylindres à fourreau. Le vide obtenu a atteint 68 centimètres de mercure, et les résultats ont été en général satisfaisants. Les tuyaux qui forment le condenseur sont en fer forgé, zingués extérieurement et intérieurement, et les chaudières se sont bien trouvées de l'emploi de ce métal. Les objections que l'on fait à l'emploi du système Chrichton ont trait aux déformations des tuyaux extérieurs sous l'influence du choc de corps étrangers, et aux ruptures de leurs joints à la suite de la déformation du bâtiment. Les tuyaux dont il est ici question ont d'ailleurs une très-grande longueur; ils font presque le tour du bâtiment en passant dans la cage de l'hélice à toucher l'étambot avant.

N° 24. — 1. Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle directe (à deux hélices), avec condensation par surface : types des chantiers et ateliers de l'Océan et des forges et chantiers de la Méditerranée. — 2. Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à une ou à deux hélices avec engrenage), avec condensation par mélange : types du Creusot. — 3. Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle directe (à deux hélices), avec condensation par mélange : types de Dudgeon et de Mordoch. — 4. Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice), avec condensation par mélange : types de Humphrys et Tennant, et de Inglis. — 5. Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice avec engrenage), avec condensation par surface : type de Isherwood. — 6. Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice), avec condensation par surface ou par mélange : types de J. Watt.

N° 24, Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle directe (à deux hélices), avec condensation par surface : types des chantiers et ateliers de l'Océan et des forges et chantiers de la Méditerranée. — Les machines du type des *chantiers et ateliers de l'Océan* se rencontrent sur plusieurs canonnières; elles sont représentées en *sect.* 1, *pl.* II. La légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous les organes. — Les cylindres des deux machines sont dos à dos et boulonnés ensemble. Les condenseurs et les bâches sont en abord; ces dernières sont reliées aux cylindres par des bâtis horizontaux qui portent les paliers de l'arbre, au nombre de quatre, et dont le serrage est horizontal. — Dans chaque machine, la tige de piston n'a qu'une glissière inférieure, rectangulaire, qui est embrassée par le coulisseau; le pied de bielle est à fourche. — Les tiroirs, en coquille ordinaire, sont conduits par des secteurs à bielle directe; chaque secteur est formé d'un seul arc qui s'engage à queue d'aronde dans un tourillon porté par un prolongement de la tige du tiroir; ce prolongement passe dans une douille qui lui sert de guide. Les bielles de suspension des secteurs sont articulées aux extrémités de deux leviers d'un même arbre; ce dernier passe à travers les bâtis et se manœuvre pour chaque machine, au moyen d'un levier. Un petit ressort à boudin, logé dans une cavité du couvercle de la boîte à tiroir, maintient toujours le tiroir sur la bande du cylindre et l'y ramène lorsqu'il a été écarté par une projection d'eau. — Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable. Sect. 1. Pl. II.

Les deux cylindres de la même machine sont d'un seul jet de fonte; entre les deux se trouve une cavité dans laquelle aboutit le tuyau de vapeur, et qui se prolonge au-dessous des cylindres, sous forme d'enveloppe, jusqu'à la boîte à tiroir (*fig.* 4). Les tuyaux de vapeur sont distincts pour chaque machine et il n'y a pas de registre; la soupape d'arrêt en tient lieu, et on stoppe en mettant le secteur à mi-suspension. — Les condenseurs tubulaires, un par machine, sont cylindriques et à tubes horizontaux. Ils reposent sur des caisses rectangulaires boulonnées à la plaque de fondation, et au milieu desquelles est située la pompe à air; d'un côté de cette pompe se trouve le réservoir inférieur à eau douce du condenseur et de l'autre la bâche. Les conduits d'évacuation des deux cylindres se réunissent en un seul qui vient déboucher au milieu de la longueur du condenseur, dans

un renflement ménagé dans ce récipient et tout autour des tubes, pour que la vapeur puisse s'épanouir facilement. L'eau de circulation est aspirée à travers les tubes par une turbine (*fig.* 2) placée dans le condenseur, à l'extrémité arrière du faisceau tubulaire. Cette turbine reçoit son mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire de deux poulies et d'une courroie; l'arbre de la poulie de commande est supporté par un palier spécial; il est relié à l'arbre moteur par un joint à mâchoire.

Entre les deux paliers du milieu, l'arbre porte un excentrique (*fig.* 2) qui conduit la pompe à air et la pompe alimentaire. Le pied de bielle de cet excentrique est à fourche, et embrasse les tourillons d'une traverse dont les coulisseaux se meuvent dans des glissières formées par les bâtis. Cette traverse porte deux bras : l'un, au-dessus, conduit directement le piston plongeur de la pompe alimentaire; l'autre, au-dessous, fortement recourbé horizontalement vers le condenseur, et jusqu'au delà de l'arbre, se redresse ensuite et porte une douille sur laquelle vient se claveter la tige de piston de la pompe à air. Cette pompe est à double effet. — Les pompes de cale, à piston plongeur et à fourreau, sont conduites directement par un excentrique monté à l'extrémité arrière de chacun des arbres moteurs.

Les *forges et chantiers* ont construit pour quatre canonnières, type *Chacal*, des machines à quatre cylindres avec condenseur à surface et menant deux hélices indépendantes. Ces appareils ne diffèrent pas notablement du type des *chantiers et ateliers de l'Océan* décrit ci-dessus; ils ont d'ailleurs été construits en même temps, et d'après des conditions communes, imposées par le marché. Les condenseurs ont la forme de caisses rectangulaires contenant deux faisceaux de tubes que la vapeur traverse. Les tubes sont taraudés et portent un petit écrou annulaire formant presse-étoupe et comprimant une rondelle de caoutchouc; cette rondelle est logée dans une cavité ménagée autour du tube, dans la plaque de tête. — Il existe, pour chaque machine, une pompe de circulation à double effet et agissant par refoulement; cette pompe est conduite par un bras de la traverse du piston du cylindre avant. — La pompe à air, également à double effet, est conduite de la même manière par le piston du cylindre arrière. — Les appareils dont il s'agit ont été remplacés depuis peu par des machines Compound du type *Farcot* (n° 28_3) dont il sera question plus tard.

N° 24_2 Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à une ou à deux hélices avec engrenage), avec condensation par mélange : types du Creusot. — Les machines à bielle directe et à engrenage que le *Creusot* a construites pour un grand nombre de canonnières comportent deux cylindres horizontaux avec condenseur en dessous et bâches communes entre les deux. — Les paliers de l'arbre de couche, au nombre de quatre, reposent sur les plaques de fondation; ils sont reliés aux cylindres, par leur partie supérieure, au moyen d'entretoises rectangulaires en fer forgé. De fortes pièces de fer rapportées au-dessus et au-dessous de ces entretoises servent de glissières aux coulisseaux des traverses de piston. — Entre les paliers du milieu se trouve la

grande roue dentée qui actionne le pignon de l'arbre de l'hélice; le rapport d'engrenage est de 1 à 1,666. — Outre une butée à collets qui se trouve sur l'arrière de la machine, il existe un grain de butée dans un palier de la partie avant de la plaque de fondation. — Les pistons ont deux tiges placées dans le plan vertical de l'axe du cylindre; leur traverse porte un œil dans lequel se meut le pied de bielle et dont le tourillon, prolongé horizontalement, porte à ses extrémités les coulisseaux de glissière. — La traverse de chaque piston se prolonge au-dessous de la tige inférieure, et forme un double bras qui mène directement la pompe à air et la pompe alimentaire; ces pompes sont à double effet. La condensation s'opère par mélange.

Les distributeurs sont des tiroirs en coquille placés sur le côté extérieur des cylindres; ils sont conduits par des secteurs à bielle directe. Le changement de suspension s'opère par l'intermédiaire d'un arbre de relevage commun placé au-dessus des bâtis. — Les organes de détente sont des plaques percées conduites par des excentriques à calage variable et à déclanche; elles frottent sur le dos de la boîte à tiroir. — Les pompes de cale sont verticales à piston plongeur et à fourreau; elles sont conduites par des boutons excentrés aux extrémités de l'arbre moteur. — Chaque appareil est muni d'un modérateur (n° 41) qui ferme complétement une valve placée sur le tuyau de vapeur lorsque, par suite de l'immersion de l'hélice, la vitesse de rotation s'accélère brusquement.

Ces machines ont fort peu d'élévation et occupent un espace relativement petit; elles sont cependant accessibles dans toutes leurs parties, mais elles présentent l'inconvénient d'avoir les cylindres en contact immédiat avec les condenseurs et les bâches, sur presque la moitié de leur surface. On les rencontre sur un grand nombre de canonnières, les unes du type *Pique* de 50^{ch} de 300^{km}, les autres du type *Diligente* et *Frêlon* de 40^{ch} de 300^{km}.

Pression absolue aux chaudières		$2^{at},75$
Introduction fixe aux cylindres		0,70
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},80$
	de chauffe	$0^{m.c},5040$

Le Creusot a aussi construit des machines à deux hélices avec engrenage, mais à un seul cylindre par hélice, pour des batteries cuirassées du type *Arrogante*, d'une force totale de 120^{ch} de 300^{km}.

Pression absolue		$2^{at},75$
Introduction fixe		0,68
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$2^{dm.c},05$
	de chauffe	$0^{m.c},4833$
Rapport d'engrenage		44/27

N° 24_3 Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle directe (à deux hélices), avec condensation par mélange : Types de Dudgeon et de Mordoch. — Dans le type *Dudgeon*, les machines, composées chacune de deux cylindres, sont complété-

ment indépendantes; elles ne se touchent pas et ont des positions croisées, celle de tribord sur l'avant, celle de bâbord sur l'arrière. Les pistons n'ont qu'une seule tige guidée par une glissière à rebords; le pied de bielle est à fourche. — Les tiroirs, en coquille, sont placés sur les côtés et sont conduits directement par des secteurs; le changement de suspension s'opère pour les deux, au moyen d'un arbre de relevage portant un secteur denté mû par une vis sans fin. — Les condenseurs de chaque machine sont derrière les cylindres, du bord opposé à leur arbre; la condensation s'opère par mélange. — L'arbre d'hélice de la machine tribord, qui est la plus en avant, passe entre les cylindres et les condenseurs de la machine bâbord. — Une tige de piston, qui sort par la partie inférieure du fond de chaque cylindre, conduit directement la pompe à air correspondante. Les pompes alimentaires et les pompes de cale sont conduites par un bras de ces tiges.

Cet appareil, que l'on rencontre sur le paquebot *Mary Augusta*, de 300 chevaux nominaux, est accessible dans toutes ses parties et peut être facilement visité. Les poids sont rapportés, autant qu'il est possible de le faire, au centre du navire. Les bâtis sont robustes et peuvent supporter sans fatigue l'allure de 118 tours à laquelle la machine a développé 1.750 chevaux de 75 kilogrammètres.

Mordoch, de Porsmouth, a fait des machines semblables, mais qui n'ont qu'un seul cylindre par hélice, du bord opposé à l'arbre du propulseur qu'il actionne. — Ces machines présentent de plus ceci de particulier, que les pompes à air sont indépendantes et ont chacune leur cylindre moteur. Les pompes à air et les condenseurs sont placés entre les cylindres moteurs des hélices. Les condenseurs sont formés d'une seule caisse partagée en deux parties par une cloison oblique; la partie supérieure pour le cylindre de tribord et la partie inférieure pour celui de bâbord. — Les cylindres moteurs des pompes sont à pilon, et à fourreau du côté des pompes, lesquelles sont placées en dessous, et sont à simple effet; leur tige passe dans le fourreau du cylindre moteur, se fixe sur le piston et se prolonge au-dessous du fond de cylindre, pour être clavetée sur une traverse semblable à celle des petits chevaux. Dans cette traverse, se meut le bouton d'une manivelle d'un arbre supérieur. Cet arbre, qui sert pour les deux cylindres moteurs des pompes, porte les excentriques des tiroirs. — Des extrémités de chaque traverse partent deux tiges qui mènent directement une pompe de cale et une pompe alimentaire. — Un tuyautage spécial permet d'employer les pompes à air pour extraire l'eau de la cale, en cas de voie d'eau.

Ces machines sont très-ramassées vers le milieu du bâtiment; mais quoiqu'il n'y ait qu'un seul cylindre par hélice, elles prennent beaucoup de place dans le sens de l'axe. On les rencontre sur un petit nombre de canonnières anglaises.

N° 24. Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice), avec condensation par mélange : types de Humphrys et Tennant et de Inglis. — *Humphrys et Tennant* ont construit un grand nombre de machines à bielle directe, que l'on désigne quelquefois sous le nom de machines à bielles courtes, parce que la lon-

gueur de la bielle est égale environ à trois fois seulement la longueur de la manivelle. — Ces appareils, dont il a déjà été question au n° 123 *du traité des appareils à vapeur de navigation*, ont subi peu de modifications; ils sont d'ailleurs d'une extrême simplicité. — Les condenseurs sont placés à l'opposé des cylindres. Ces derniers récipients, les massifs des glissières et les condenseurs, ne sont en contact que par la partie inférieure. — Les bâtis sont réduits à une plaque à nervure présentant des masses saillantes pour constituer les corps des paliers. Le serrage de ces paliers se fait horizontalement. Le sommet de chaque palier est relié au cylindre par une forte entretoise oblique en fer forgé. La tige de piston est terminée par un palier formé de deux blocs en bronze serrés par un chapeau; ces deux blocs portent, à leur partie inférieure, un appendice formant coulisseau, qui est guidé par une glissière unique, fixée sur le bâtis au-dessous de la tige. Le pied de bielle est à fourche et porte un tourillon qui oscille dans le palier précité. — Les tiroirs, placés sur les côtés extérieurs des cylindres, sont conduits par des coulisses d'une seule pièce et à section rectangulaire. Cette coulisse traverse une large mortaise pratiquée à l'extrémité de la tige de tiroir, et s'y ajuste avec une rotule cylindrique comprise entre deux coussinets. L'un de ces coussinets est fixe et l'autre mobile; ce dernier peut être serré au moyen d'une vis, de manière à remédier à l'usure des parties en contact. La tige du tiroir est d'ailleurs guidée par une pièce en fonte, engagée par ses côtés saillants dans une coulisse boulonnée sur la boîte à tiroir.

Ce type est parfaitement dégagé dans toutes ses parties. Les condenseurs sont assez éloignés des bâtis pour laisser un passage libre pour le service, de telle sorte que les paliers de l'arbre sont accessibles, même en marche. Enfin, toutes les pièces présentent des formes arrondies, ce qui est très-favorable pour la solidité et pour la facilité d'entretien de l'appareil. — On rencontre des machines de ce type sur un assez grand nombre de bâtiments anglais et sur des canonnières de 200 chevaux nominaux; toutefois, il a été construit quelques appareils plus puissants que l'on rencontre notamment sur le *North-star*, de 400 chevaux, et sur le *Prince-Albert*, navire à bouclier et à coupoles de 500 chevaux nominaux.

M. Inglis de Glascow a construit pour quelques corvettes anglaises de 200 chevaux, et notamment pour le *Chanticlear*, des appareils à bielle directe qui présentent la plus grande analogie avec celles de *M. Humphrys*; ils sont seulement plus resserrés et laissent moins d'espace libre pour le service.

N° 24$_8$ Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice avec engrenage), avec condensation par surface : type de Isherwood. — Ce type, construit aux États-Unis, comporte deux cylindres à bielle directe, placés à tribord, et comprenant entre eux deux condenseurs vis-à-vis desquels sont placées les roues d'engrenage. L'arbre moteur fait 40 tours et celui de l'hélice 81. Les pistons à vapeur ont deux tiges placées dans le plan horizontal de l'axe de l'arbre et des axes des cylindres. Ces tiges se réunissent à une traverse sur le milieu de laquelle s'articule le pied de bielle. Les glissières sont venues

de fonte avec les bâtis. Les tiroirs, placés sur les côtés extrêmes des cylindres, sont à double orifice avec compensateur intérieur, et à roulettes, comme dans les machines à bielle renversée du même auteur (n° 25_{11}). Ces tiroirs sont conduits par des secteurs qui ont généralement un arbre de relevage particulier, actionné par une petite machine à vapeur à deux cylindres; ils sont placés sur la partie supérieure de la boîte à tiroir. Il n'existe pas d'organe de détente variable. — Le serrage des paliers de l'arbre moteur se fait horizontalement; ces paliers présentent une particularit dans la disposition de leurs boulons de serrage: ces boulons sont en contact avec les coussinets et se logent dans des cavités demi-rectangulaires, demi-cylindriques, creusées dans le corps du palier; ils portent à leur extrémité un talon qui pénètre dans une entaille plus profonde des paliers, et qui leur sert de tête. Ces boulons doivent naturellement être mis en place avant les coussinets. — La liaison des bâtis au cylindre est faite par quatre boulons placés à la partie inférieure de chaque bâti, et par un énorme boulon qui traverse horizontalement tout le bâti, à la hauteur de l'arbre, et dont la tête est noyée derrière le coussinet intérieur du palier.

Les condenseurs tubulaires, au nombre de deux, sont placés entre les cylindres, disposition qui donne à la machine une très-grande longueur; la vapeur contourne les tubes et l'eau circule dans leur intérieur. La jonction des tubes sur la plaque de tête est faite au moyen de rondelles en caoutchouc comprimées dans de petites boîtes à étoupe par des douilles en bronze sur lesquelles appuient des plaques de serrage boulonnées sur la plaque de tête. Chaque condenseur est desservi par une pompe à air et une pompe de circulation à double effet; ces pompes reçoivent leur mouvement d'un arbre horizontal parallèle à l'arbre moteur, et placé à la partie inférieure des bâtis. Cet arbre reçoit lui-même son mouvement de la traverse du piston à l'aide de deux petites bielles placées de chaque côté de la grande, et réunies à leurs extrémités par une traverse, sur le milieu de laquelle s'articule le bras de l'arbre des pompes. La transmission du mouvement de l'arbre aux tiges de piston des pompes se fait d'une manière semblable, au moyen d'un bras de l'arbre et de deux bielles. — Les pompes alimentaires et les pompes de cale, au nombre de deux par espèce, sont aussi conduites par les arbres de pompe à air et de pompe de circulation. — La vapeur est fournie par des chaudières Martin (n° 61_1 et n° 156_3 du *G^d Traité*) à tubes verticaux, comportant cinquante foyers en douze corps dont deux spécialement affectés à la surchauffe.

On rencontre les machines qui nous occupent sur les navires à grande vitesse, type *Wamponoay*.

Puissance indiquée		4.000^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Introduction fixe		0,66
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	2$^{dm.c}$,62
	de chauffe	0$^{m.c}$,6540
	refroidissante	0$^{m.c}$,1643

N° 24_6 Machines ordinaires, horizontales à bielle directe (à hélice), avec condensation par surface ou par mélange : types de J. Watt. — L'usine *James Watt et Cie* a fourni pour le *Research*, bâtiment de la flotte anglaise à une seule hélice, une machine horizontale de 200 chevaux nominaux à deux cylindres du même bord. Les distributeurs sont des tiroirs à double orifice placés par côté, sur l'avant et sur l'arrière des cylindres. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs Stephenson. L'organe de détente variable est une valve cylindrique à deux orifices, animée d'un mouvement de rotation continu, dont la vitesse angulaire est égale à celle de l'arbre. Ce mouvement est communiqué aux deux valves au moyen de roues d'angle et d'arbres intermédiaires. La modification du degré de détente se fait très-simplement en faisant tourner le siége sur lui-même, au lieu de changer la position de la valve par rapport au siége. On obtient ainsi les mêmes effets qu'avec les organes de détente conduits par un excentrique à calage variable.

L'appareil est muni d'un condenseur à surface unique, placé du bord opposé aux cylindres. Les deux tuyaux d'évacuation se réunissent avant d'arriver au condenseur. Il y a pour ce condenseur deux pompes à air et deux pompes de circulation. Chaque piston à vapeur conduit directement deux de ces pompes. L'eau de circulation traverse successivement trois jeux de tubes en passant à l'intérieur de ceux-ci. Les pompes de cale et d'alimentation font directement suite aux grandes pompes et ont leurs tiges fixées sur les pistons de celles-ci, les pompes alimentaires en dedans des axes des cylindres et les pompes de cale en dehors.

La même usine a construit pour les bâtiments cuirassés à hélices jumelles, *la Méduse* et *le Triton*, des machines doubles horizontales à deux cylindres pour chaque hélice, et d'une force totale de 200 chevaux nominaux. Les cylindres sont en abord, et il n'y a, pour les deux machines, qu'un seul condenseur à mélange placé au milieu du bâtiment, entre les arbres moteurs. Les machines sont placées en face l'une de l'autre. Les deux tuyaux d'évacuation de chacune d'elles se réunissent en un seul avant de déboucher au condenseur.

N° 25. — 1. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange : type des chantiers et ateliers de l'Océan. — 2. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à deux ou trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange : types des forges et chantiers de la Méditerranée. — 3. Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange : types d'Indret et du Creusot. — 4. Machine ordinaire, horizontale à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type américain. — 5. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à deux ou trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Maudslay. — 6. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant, de Rennie et de la compagnie Thames Iron Works. — 7. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : types de Napier. — 8. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Ravenhill et Hodgson. — 9. Machines ordinaires, horizontales à

bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange : type de Caird. — 10. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à deux hélices), avec condensation par mélange : type de Westermann, de Gênes. — 11. Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type de Isherwood. — 12. Machine ordinaire, inclinée renversée à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type d'Ericsson.

N° 25₁ Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange : type des chantiers et ateliers de l'Océan.

Sect. 2. Pl. 1. Ce type représenté en *sect.* 2, *pl.* I, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, n'est, à part l'adjonction d'un troisième cylindre, que le type un peu modifié de celui qui est représenté sur la *Pl.* VII du *Traité des appareils à vapeur de navigation.*

Les cylindres sont munis d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe avant d'arriver aux boîtes à tiroir. Toutefois il existe entre la table et la paroi de chaque cylindre une solution de continuité qui constitue un passage direct pour la vapeur, en sorte que ce fluide remplit bien les enveloppes, mais n'est pas obligé de les parcourir. — Les cylindres reposent sur une plaque de fondation en trois parties solidement boulonnées l'une à l'autre. — Il n'y a que deux condenseurs placés en face des cylindres extrêmes ; ces condenseurs sont supportés par des bâtis en fonte ayant un double T pour section verticale ; ces bâtis laissent en porte-à-faux environ un tiers de la longueur des condenseurs, pour faciliter le démontage des pieds de bielle. — L'intervalle qui existe entre les deux condenseurs est occupé par une pièce en fonte qui constitue la partie supérieure de la glissière du cylindre milieu.

La plaque de fondation est en trois parties dont les lignes de jonction sont transversales entre les cylindres. Les bâtis formant paliers pour l'arbre de couche sont au nombre de quatre, et sont venus de fonte avec les plaques de fondation : les deux extrêmes sont d'un seul morceau ; les deux du milieu sont en deux parties, appartenant chacune à la plaque milieu et à la plaque extrême voisine, et solidement boulonnés ensemble pour former un tout rigide. Sur ces bâtis se boulonnent d'un côté les cylindres, et de l'autre les condenseurs et les bâtis qui les supportent. L'arbre des tiroirs a également quatre paliers. — Les trois registres *v* (*fig.* 3), placés à côté des boîtes à tiroir et à l'entrée de la vapeur dans les enveloppes, sont mis en mouvement par un seul volant de manœuvre *1* (*fig.* 2).

— Les organes de détente variable *d* (*fig.* 3), placés de l'autre côté des boîtes à tiroir, sont des papillons du système *Mazeline.* Le changement d'introduction s'opère, pour les trois organes, au moyen d'un seul volant de manœuvre 16 (*fig.* 1), et par un système de renvoi de mouvements dessiné en *fig.* 10, *pl.* VI, et décrit au n° 34_2. Il n'existe pas de mécanisme de déclanchement; l'introduction maximum est limitée à 0,40, et l'introduction minimum à 0,25.

Les tiroirs, en coquille et à dos percé, sont réglés pour 0,66 d'introduction. — La mise en train est munie du frein à griffes à faces hélicoïdales représenté en *fig.* 8, *pl.* VI, et décrit au n° 34_1. — Les conduits d'évacuation des cylindres extrêmes sont mis en communication par un tuyau E_1, dans lequel débouche l'évacuation du cylindre milieu, de sorte que la vapeur des trois cylindres se partage entre les deux condenseurs. Les régulateurs d'injection sont des clapets dont la tige, disposée comme celles des soupapes de sûreté des chaudières, est manœuvrée par un levier dont l'extrémité porte un boulon articulé qui sert de vis à un volant *i*, *fig.* 2, ce dernier s'appuyant seulement sur le condenseur. Il résulte de la disposition de ces régulateurs, que l'eau s'épanouit autour de l'ouverture du clapet, et toujours avec une égale vitesse, quelle que soit la section démasquée; ces clapets portent d'ailleurs un rebord supérieur qui empêche l'eau d'être projetée dans le conduit d'évacuation. — Les pompes à air sont à double effet et du système dit à piston plongeur; les pistons sont des cylindres allongés qui traversent une boîte à étoupe placée sur la nervure qui partage en deux compartiments la capacité totale de la pompe à air; il sont représentés en élévation sur la *fig.* 1 et en coupe sur la *fig.* 2. — Les clapets d'aspiration sont rectangulaires et en caoutchouc; leur plan est incliné à 45°, ils s'ouvrent de haut en bas. Les clapets de bâche, également en caoutchouc, sont circulaires. Les reniflards sont accolés aux condenseurs. Les clapets de retenue des bâches sont des clapets mobiles 29, qui se soulèvent à chaque refoulement des pompes. — Les pompes alimentaires sont à double effet; elles sont placées sur l'avant. Leurs pistons sont conduits par un bouton excentré qui termine l'arbre moteur. Le même bouton conduit la pompe de cale placée en dessous de l'arbre; cette pompe est à piston plongeur et à simple effet.

Comme mécanisme, ce type est parfaitement réussi; il a l'avantage de former un tout compacte et rigide, en restant suffisamment

accessible dans toutes ses parties. — La disposition des clapets d'aspiration facilite la sortie des gaz du condenseur; mais le reniflard a besoin d'être un peu plus chargé pour conserver dans le condenseur, pendant les temps d'arrêt, une colonne d'eau suffisante pour couvrir ces clapets, afin que la pompe à air ne se désamorce pas. — Le volant de manœuvre des registres, celui de la détente et ceux des injections, sont bien groupés et à proximité les uns des autres. — A part les renvois de mouvement des organes de détente variable qui sont un peu compliqués, toutes les autres transmissions sont très-simples et offrent des garanties de durée.

La légende de la *pl.* I donne les renseignements qui se rapportent au type de machine qui nous occupe.

N° 25_2 **Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à deux ou trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange : types des forges et chantiers de la Méditerranée.** — Le type des machines ordinaires à bielle en retour à deux cylindres des *forges et chantiers* (n° 124_1 du *Grand traité*), a subi quelques modifications de détail assez importantes. — Les orifices des cylindres ont été rapprochés, ce qui a fait cesser le soulèvement des tiroirs. — Les bagues des pistons et les barrettes des tiroirs sont garnies d'antifriction. — Les tiges de piston ont un double presse-étoupe, formant sur la tige un espace annulaire mis en communication avec la vapeur; on évite de cette façon les rentrées d'air. Dans le même but, les presse-étoupe des tiges de pompes à air sont doubles, et l'espace annulaire qui les sépare est mis en communication avec la bâche. — La mise en train a été munie d'un frein représenté en *fig.* 8, *pl.* VI, et décrit au n° 84_4. Sur quelques bâtiments tels que *la Provence*, la plaque de fondation repose sur des carlingues en fonte, arrondies en dessous à leurs extrémités, et fixées par de fortes vis à bois. De chaque côté, la vis la plus éloignée est à $2^m,12$ de l'axe du navire. On a ainsi presque complétement soustrait la machine à l'action des déformations du bâtiment.

L'organe de détente variable est toujours du système à piston creux à double tige dont l'une forme fourreau; mais cet organe est conduit par un secteur à bielle directe, qui lui donne son mouvement par l'intermédiaire d'un levier; à l'extrémité de ce levier s'articule une bielle dont le pied est au fond du fourreau de la détente; la tête de cette bielle porte un système de déclanchement. Le changement d'introduction s'opère, pour les deux cylindres à la fois, au moyen

d'un arbre commun de relevage dont le volant de manœuvre est placé entre les deux boîtes à tiroir.

Les *forges et chantiers* ont aussi construit pour la frégate *la Revanche* un appareil à trois cylindres égaux recevant directement la vapeur de la chaudière, et dont les pistons agissent sur trois coudes faisant entre eux des angles égaux de 120 degrés. L'introduction fixe réglée par les tiroirs est de 0,71; mais chaque cylindre est pourvu d'un organe de détente variable sans déclanche, ouvrant en grand à demi-course, et conduit par un secteur; cet organe procure une introduction maximum de 0,4 qui peut être réduite à 0,2. — Pour la marche en arrière, l'introduction maximum n'est que de 0,2. — L'appareil ne comporte que deux condenseurs placés en face des cylindres avant et arrière. Le cylindre du milieu évacue dans un tuyau qui met en communication les deux condenseurs. — Comme détails de construction, cette machine ne diffère pas du type dont il a été parlé ci-dessus, à part l'adjonction d'un troisième cylindre placé entre les deux autres, et d'une double glissière en fonte reliant les condenseurs qui sont placés en face des cylindres extrêmes. La plaque de fondation présente en outre la disposition ci-dessus décrite pour *la Provence.*

Ajoutons que dans le type appliqué sur la frégate prussienne *Frédéric Karl*, l'appareil a deux cylindres, et que les tiroirs, placés sur le côté, sont conduits par des secteurs. — Les *forges et chantiers* ont construit sur ce dernier type les appareils moteurs à deux hélices indépendantes des canonnières cuirassées et à réduit central *Palestro* et *Varese*, appartenant au gouvernement italien.

On rencontre des machines du type des *forges et chantiers* sur un grand nombre de bâtiments de la marine française et des marines étrangères, et notamment sur les bâtiments suivants :

MARINE FRANÇAISE.

Provence, frégate cuirassée, de 900^{ch} de 300^{km} à. . . . . 2 cylindres.
Revanche, *id.* 900^{ch} *id.* . . . . . 3 —
Belliqueuse, corvette cuirassée, de 450^{ch} de 300^{km} à. . . 2 —
Adonis, aviso, de 135^{ch} de 300^{km} à. . . . . 2 —

MARINE ESPAGNOLE.

Numancia, frégate cuirassée, de 1.000^{ch} de 300^{km}. . . . 2 cylindres.
Prince Alphonse, frégate cuirassée, de 800^{ch} de 300^{km}. . 2 —

MARINE BRÉSILIENNE.

Brazil, corvette cuirassée, de 250^{ch} de 300^{km} . . . . 2 cylindres.

MARINE ITALIENNE.

Regina-Maria-Pia. / *San-Martino*. . . .	frégates cuirass.,	de 700^{ch} de $300^{k.m}$.	2 cylindres.
Palestro. / *Varèse*. .	canonnières cuirassées à réduit central à 2 hélices	300^{ch} de $300^{k.m}$. . .	2 machines indépendantes à 2 cylindres.

MARINE PRUSSIENNE.

Frédéric-Karl, frégate cuirassée, de 950^{ch} de $300^{k.m}$. . . 2 cylindres.

DONNÉES PRINCIPALES.

Pression absolue aux chaudières			2^{at},75
Introduction	machines à deux cylindres		0,67
	Revanche (trois cylindres indépendants)		0,40
Surface par cheval indiqué de $75^{k.m}$ sur les pistons	de grille	2 cylindres	$1^{dm.c}$,84
		3 —	$1^{dm.c}$,63
	de chauffe	2 cylindres	$0^{m.c}$,4650
		3 —	$0^{m.c}$,4106

N° 25, Machines doubles ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange : types d'Indret et du Creusot. — Après avoir construit sur leurs anciens types un grand nombre de machines pour la marine française, les usines d'Indret et du Creusot ont fait chacune, pour un garde-côte cuirassé, un appareil moteur à deux hélices, qui ne diffère pas sensiblement de leur type primitif.

Dans celui d'*Indret*, qui se trouve à bord du *Taureau*, l'appareil complet comporte deux machines distinctes à deux cylindres chacune ; ces cylindres sont dos à dos. — Un tuyau de vapeur commun se bifurque entre les deux machines, et chacune de ses branches est munie d'un registre. — Les tiroirs sont placés sur les cylindres et conduits par des secteurs en l'air, au moyen d'une transmission de mouvement à leviers, comme dans le type à deux cylindres. — Un organe de détente à piston creux permet de faire varier l'introduction depuis 0,70 jusqu'à 0,10. — Les condenseurs ordinaires sont reportés l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, de sorte que les glissières sont à découvert et que tous les paliers de l'arbre sont bien accessibles. — Les pompes à air sont conduites par les tiges inférieures des pistons moteurs.

Puissance	nominale	480^{ch} de $300^{k.m}$
	indiquée	1.920^{ch} de $75^{k.m}$
Introduction	fixe	0,74
	variable jusqu'à	0,10
Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Surface par cheval indiqué de $75^{k.m}$ sur les pistons	de grille	$1^{dm.c}$,69
	de chauffe	$0^{m.c}$,4354

Dans le type du *Creusot* que l'on trouve sur *le Cerbère*, les cylindres sont en abord. Les tiroirs ont double tige et sont conduits par des secteurs qui oscillent contre les condenseurs; la bielle de suspension de chaque secteur est articulée sur un fort écrou qui remonte verticalement le long d'une vis; cette dernière est mise en mouvement par un engrenage conique; il n'y a qu'un seul volant de manœuvre pour les deux secteurs de la même machine. — Les traverses de piston sont à découvert, les condenseurs entre les deux et les bâches aux extrémités; la condensation s'opère par mélange.

Puissance	nominale	530^{ch} de 300^{km}
	indiquée	2.120^{ch} de 75^{km}
Introduction fixe		0,68
Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,79
	de chauffe	0$^{m.c}$,4589

N° 25$_4$ Machine ordinaire, horizontale à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type américain. — Le type dont il s'agit a été appliqué à bord du *Rochambeau*, construit, coque et machine, aux États-Unis (*). Ce type se compose de deux parties distinctes : 1° de la machine proprement dite, à deux cylindres placés du même bord, et commandant une hélice dont le pas est à gauche; 2° d'une machine auxiliaire, à deux cylindres horizontaux placés au-dessous du condenseur, et qui commande, sans l'intermédiaire d'aucune bielle, les pompes à air et les pompes de circulation.

Chaque cylindre de l'appareil proprement dit a deux boîtes à tiroirs distinctes placées en dos d'âne; chacune d'elles communique avec le tuyau de vapeur principal par un conduit spécial, muni d'une boîte d'arrêt. Les distributeurs sont des tiroirs en coquille à double orifice et sont munis de compensateurs. Les tiges des deux tiroirs dumême cylindre sont fixées sur une traverse commune qui reçoit son mouvement d'un arbre spécial à deux coudes, par l'intermédiaire de deux bielles; cet arbre spécial est actionné par un secteur Stephenson, qui agit sur une troisième manivelle que cet arbre porte à son extrémité. Les deux secteurs ont un arbre commun de suspension qui porte trois leviers; la bielle de suspension de chaque secteur est articulée sur un des leviers de cet arbre. Le troisième levier est actionné par une vis taraudée dans un écrou mobile autour de son axe; cet écrou est emprisonné dans un collier qui porte deux tourillons autour de l'axe desquels tout le système peut avoir un léger mouvement d'oscillation, sans que l'écrou puisse se déplacer le long de son axe.

(*) Le *Rochambeau* est démoli depuis déjà quelque temps; néanmoins, nous avons cru utile de donner une description succincte de ce type à cause de son originalité et de son bon fonctionnement. Les résultats des essais figurent du reste aux tableaux B et B *suite*.

Enfin l'écrou mobile fait corps avec un engrenage conique actionné par un engrenage semblable porté par l'arbre d'une petite machine spéciale de mise en train, à deux cylindres, dont les pistons agissent sur des coudes à angle droit. — Par cette disposition, un seul homme qui manœuvre la machine spéciale de mise en train change la suspension des deux secteurs. L'arbre de cette petite machine porte un frein qui permet de l'arrêter lorsque les secteurs sont dans leur position extrême de suspension.

L'organe de détente variable est placé, pour chaque cylindre, au-dessus des tiroirs; cet organe est du système à plaque frottante d'écartement variable. Pour changer le degré d'introduction, on fait tourner la tige de chaque organe de détente au moyen d'un levier et d'une roue à rochet. Les deux organes de détente de chaque cylindre sont conduits, de la même manière que les tiroirs, par un secteur Stephenson dont les excentriques sont placés sur l'arbre de couche, entre les deux cylindres. L'appareil moteur proprement dit mène les pompes de cale et les pompes alimentaires; ces pompes, au nombre de deux par espèce, sont à simple effet et à piston plongeur; les pompes de cale sont conduites par un excentrique placé sur l'arbre, à l'arrière de la machine, et les pompes alimentaires, par un bouton excentré du bout avant de l'arbre. Ces dernières puisent dans la bâche à eau douce du condenseur. Un tuyau muni d'un robinet permet de mettre en communication la chambre à eau avec la chambre à vapeur du condenseur pour réparer les pertes.

Un seul condenseur tubulaire dessert les deux cylindres moteurs. Les tubes sont horizontaux et en deux faisceaux que l'eau froide traverse et que la vapeur contourne. Ce condenseur est placé en face des cylindres, dont les conduits d'évacuation viennent aboutir aux deux extrémités du condenseur. Les tubes sont maintenus sur les plaques de tête par des douilles en bois de sapin comprimé de 3^{mm} d'épaisseur, qu'on chasse de force entre le tube et la plaque (n° 48_3). — Les pompes à air et les pompes de circulation, au nombre de deux par espèce, sont à double effet; ces pompes sont placées horizontalement au-dessous du condenseur, et leurs pistons sont conduits directement par les prolongements des tiges de piston à vapeur d'une machine auxiliaire à deux cylindres qui commande ces pompes. Les pompes à air ont des tiroirs au lieu de clapets; ces tiroirs ainsi que ceux des deux cylindres à vapeur reçoivent leur mouvement à l'instar de ce qui a lieu pour les pompes américaines du système *Lee et Learned* (n° 63_4). — Les pompes à eau froide ont des clapets en caoutchouc et des pistons plongeurs. — La machine auxiliaire qui mène les pompes à air et les pompes de circulation est toujours mise en marche avant l'appareil moteur proprement dit, et continue de fonctionner pendant les temps d'arrêt; mais son allure peut être réduite tant que l'appareil moteur ne fonctionne pas. — La séparation complète du condenseur et de tous ses organes d'avec l'appareil moteur proprement dit permet d'entretenir un vide permanent qui rend la manœuvre beaucoup plus facile et plus prompte. Toutes les machines auxiliaires évacuent d'ailleurs dans ce condenseur.

L'appareil évaporatoire se compose de huit corps de chaudières à foyers

superposés. Les deux corps de l'avant ont deux foyers seulement; ces deux corps sont principalement destinés à fournir la vapeur nécessaire au fonctionnement de trois machines auxiliaires qui peuvent servir, soit pour alimenter les chaudières, soit pour vider les eaux de la cale, soit pour mettre en mouvement les ventilateurs. Quand on est sous vapeur, les deux corps de chaudière de l'avant sont mis en communication avec le tuyau de vapeur principal. — Un parquet régnant vers le haut des chaudières, dans toute la longueur de la chambre de chauffe, sert à surveiller les tubes de niveau et les robinets de jauge. — Une disposition particulière permet de manœuvrer les régulateurs alimentaires du parquet supérieur aussi bien que du parquet de chauffe.

Puissance nominale.			1.000ch de 300km
Puissance indiquée en chevaux de 75km	appareil moteur proprement dit.	4.655ch	4.870ch
	machine auxiliaire du condenseur.	215ch	
Introduction	fixe.		0,62
	variable juqu'à.		0,30
Pression absolue aux chaudières.			2at,75
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille.		1dm.c,99
	de chauffe.		0m.c,4630
	refroidissante.		0m.c,1957

N° 25_5 Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour à deux ou trois cylindres (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Maudslay. — *Maudslay* a construit un grand nombre de machines à bielle en retour à deux et à trois cylindres indépendants. — Les appareils de 900 chevaux nominaux, montés sur les steamers *Rome* et *Vénitie*, sont à deux cylindres; l'ensemble ne diffère pas sensiblement du type primitif de ce constructeur. Les distributeurs sont des tiroirs ordinaires à double orifice, placés sur les côtés des cylindres; ces tiroirs sont conduits par des secteurs. La détente variable est produite par une valve tournante à quatre orifices. Les deux valves sont conduites par un jeu de trois roues d'engrenage droit, placées entre les deux machines. La roue supérieure est montée sur un arbre longitudinal qui porte deux pignons coniques; chacun de ces pignons donne le mouvement à un arbre longitudinal qui, par l'intermédiaire d'engrenages coniques placés à son extrémité, donne le mouvement à un second arbre longitudinal; ce dernier conduit l'organe de détente au moyen d'un nouveau jeu d'engrenages coniques. La roue droite inférieure est calée sur l'arbre moteur et la troisième roue droite sert d'intermédiaire entre les deux autres. L'organe de détente est animé d'un mouvement circulaire continu dont la vitesse angulaire est la moitié de celle de l'arbre de la machine. Le changement du degré de détente se fait de la manière suivante : sur l'arbre transversal de chaque organe de détente est monté un embrayage; l'une des parties de cet embrayage est un manchon traversé par un boulon que conduit un collier, et que guide, par son extrémité, une rainure droite pratiquée sur l'arbre. Une roue à manettes sert à manœu-

vrer une vis qui fait avancer ou reculer le collier sur l'arbre, d'où résulte le déplacement circulaire du manchon par rapport à cet arbre. La modification du degré de détente se fait sans stopper.

La condensation s'opère par mélange. Les pompes à air horizontales à double effet sont conduites par des tiges fixées directement sur les pistons à vapeur, et les pompes de cale et d'alimentation reçoivent leur mouvement des traverses des mêmes pistons. Les pompes alimentaires sont au-dessus des tiges supérieures et les pompes de cale sous les tiges inférieures. — Pression absolue à la chaudière 2[atm],33.

MM. *Maudslay* ont encore fourni à la flotte anglaise, pour bâtiments à hélices jumelles, des appareils à bielle en retour composés de deux machines à deux cylindres. Il n'y a qu'un seul condenseur par mélange, placé au milieu du bâtiment et auquel sont presque adossés les fonds des cylindres. Les pompes à air, une par machine, sont à double effet et reçoivent leur mouvement des pistons à vapeur tribord avant et bâbord arrière, au moyen d'une tige qui traverse le fond de chacun de ces cylindres. Les pompes de cale et d'alimentation sont mues par des bras des tiges des pistons à vapeur. Les tiroirs à double orifice et à compensateur sont mus par un secteur Stephenson. Ce type est bien compact; il a donné de bons résultats.

Dans le dernier type des machines Maudslay, représenté en *sect.* 3, *pl.* IV, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, l'appareil complet comporte trois cylindres égaux placés d'un même bord et fonctionnant à grande détente. L'arbre moteur a trois coudes qui forment entre eux des angles égaux de 120 degrés; cet arbre est porté par six paliers. Les cylindres, les bâtis de l'arbre, ainsi que les bâtis horizontaux qui portent le condenseur, reposent directement sur les carlingues. Ces derniers bâtis portent les glissières de traverse de piston, et contiennent le réservoir inférieur des condenseurs, les bâches, les pompes à air et les pompes de circulation.

Sect. 3. Pl. IV.

Les cylindres sont pourvus d'enveloppes, et la vapeur qui remplit ces enveloppes, ainsi que les vides des doubles fonds des couvercles, ne travaille pas dans les cylindres. Les fonds du côté de l'arbre sont du même jet de fonte que les cylindres, et se prolongent dans la partie haute, pour augmenter la longueur de la boîte à tiroir. Les trois cylindres reçoivent directement la vapeur des chaudières. L'évacuation du cylindre milieu se fait, de chaque côté, dans les conduits horizontaux qui relient les trois boîtes à tiroir, ce qui pourrait faire croire, à première vue, que cette machine est du système Woolf. Ces conduits sont prolongés, au-dessous de chacun des cylindres extrêmes, par des portions de chemise qui aboutissent aux

tuyaux d'évacuation de ces cylindres. Ces derniers tuyaux sont placés sur les côtés des boîtes à tiroir et aux extrémités de la machine. Les traverses de piston n'ont qu'une seule glissière inférieure, qui affecte la forme représentée en *fig.* 3; le coulisseau a la forme d'un U sur les branches duquel se fixe la traverse de piston; le pied de bielle est simple.

Les tiroirs, placés à plat sur le dos des cylindres, sont en coquille avec triple orifice pour l'introduction et double orifice pour l'évacuation, comme le montre la *fig.* 2. Ces tiroirs sont munis de compensateurs, et chacun d'eux porte deux tiges qui se fixent sur une traverse commune dont les glissières sont sur les bâtis. Chaque traverse est conduite directement, au moyen de bielles, par deux coudes d'un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur. En raison de la multiplicité des orifices, les tiroirs ont une très-petite course. La transmission de mouvement de l'arbre moteur à l'arbre des tiroirs fait partie du mécanisme de renversement de marche représenté en *fig.* 9, *pl.* VI, et décrit au n° 34_8. A la suspension extrême du châssis, les tiroirs procurent 0,50 d'introduction. Les étranglements de vapeur résultant d'une introduction fixe aussi réduite sont annulés par la multiplicité des orifices. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable; mais on peut diminuer l'introduction par un petit changement de suspension du châssis qui porte les roues satellites, ce qui fait augmenter l'angle de calage. L'introduction peut ainsi être réduite jusqu'à 0,143 de la course du piston, tout en conservant au tiroir une régulation convenable. — Sur le *Lord Warden* et sur quelques autres navires, la manœuvre de la mise en train s'effectue au moyen d'une petite machine auxiliaire horizontale, à deux cylindres en échiquier, placée sur le parquet supérieur.

Les deux condenseurs, placés à l'opposé des cylindres extrêmes, sont reportés, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, pour laisser complétement à découvert les trois traverses de piston. Ces condenseurs sont tubulaires, de forme cylindrique et légèrement inclinés pour faciliter l'écoulement de l'eau provenant de la vapeur condensée. — Cette vapeur traverse les tubes que l'eau froide contourne. La jonction des tubes sur les plaques de tête est faite au moyen de petits presse-étoupe à vis (n° 48_2). — Les pompes à air sont horizontales et à double effet, le piston de chacune de ces pompes est conduit par un bras fixé à la tige de piston inférieure du cylindre extrême correspondant. L'eau douce, refoulée par les pompes à air, se rend

dans une bâche spéciale B'_6, *fig.* 2, placée en abord des condenseurs, en face du cylindre milieu, et où puisent les pompes alimentaires. — L'eau de circulation est refoulée dans chaque condenseur par une pompe horizontale à double effet, dont le piston est conduit par un bras de la tige de piston supérieure du cylindre extrême correspondant. — Les pompes alimentaires, au nombre de deux, sont horizontales, à piston plongeur et à simple effet; les pistons de ces pompes sont conduits par le coulisseau de la traverse de piston du cylindre milieu. — Les pompes de cale, placées sur l'arrière de la machine, sont commandées par un excentrique monté sur la ligne d'arbres.

En raison du calage à 120 degrés des trois coudes de l'arbre, les machines du type qui nous occupe ont un mouvement de rotation très-régulier, malgré les variations des efforts moteurs sur les pistons, variations qui résultent de l'emploi d'une détente fixe très-prolongée. De plus, la machine se met en marche quelle que soit la position des manivelles, car il y a toujours au moins un piston qui agit efficacement pour déterminer le mouvement. Le système de renversement de marche, parfaitement approprié au changement d'introduction, ne présente pas le degré de simplicité désirable dans une machine marine, et nécessite une grande perfection d'ajustage pour éviter le ferraillement des roues de la transmission de mouvement de l'arbre moteur à l'arbre des tiroirs. — Les cylindres sont très-découpés par les trois orifices qu'ils portent à chacune de leurs extrémités. Comme ensemble, ce type est bien réussi; toutes les articulations sont d'ailleurs parfaitement accessibles et d'une surveillance facile.

N° 25_6 Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant, de Rennie et de la Cie Thames Iron Works. — La plus importante des machines à bielle renversée de *Humphrys et Tennant* est celle du navire cuirassé à tourelles le *Monarch*, de 1.100 chevaux nominaux, qui comporte deux cylindres dont les pistons ont quatre tiges attelées sur un même joug; ce dernier porte sur des glissières inférieures à rebords. — Les tiroirs sont conduits par des excentriques à bielle directe. Les condenseurs par surface sont reportés aux extrémités de la plaque de fondation, du bord opposé aux cylindres, et laissent les jougs des pistons à découvert. Entre ces deux jougs s'élèvent les deux tuyaux de décharge accidentelle des bâches à eau douce; chacune de ces décharges est munie d'une vanne et communique avec un tuyau commun, muni d'un obturateur à son passage dans la muraille du navire. Les

pompes de cale et les pompes de circulation sont conduites par les tiges inférieures des pistons moteurs. — Outre l'appareil du *Monarch*, ces constructeurs ont fourni à la marine anglaise bon nombre de machines pour corvettes cuirassées de 400 et de 500 chevaux nominaux.

Dans leur ensemble comme dans leurs détails, ces machines sont loin d'avoir atteint le degré de perfection des machines à bielle directe qui ont fait la renommée de ces constructeurs ; elles sont cependant suffisamment accessibles dans toutes leurs parties essentielles et paraissent très-robustes.

MM. *J. et G. Rennie* ont construit des appareils à bielle en retour dont un des meilleurs types a été placé sur les bâtiments de la *Compagnie péninsulaire et orientale*, *Charkieh* et *Dakahlieh*, d'une puissance nominale de 550 chevaux. Ce sont des machines horizontales avec surchauffeurs et condenseurs à surface. Les deux cylindres sont du même bord, boulonnés entre eux. L'arbre moteur est en deux parties reliées par des tourteaux boulonnés ; il est supporté par quatre paliers. — Les tiroirs, à double orifice, sont conduits par des secteurs ; ces tiroirs sont placés sur le côté des cylindres à l'avant et à l'arrière de la machine. Ces appareils sont munis d'organes de détente variable à plaque frottante, à orifices multiples et de course variable. — Il n'y a qu'un condenseur dans lequel débouchent les deux tuyaux d'évacuation. La vapeur passe dans les tubes. Les pompes à air et de circulation sont directement conduites par les pistons à vapeur. Des valves permettent de fonctionner avec la condensation par mélange ; mais cette condensation s'effectue moins bien avec la vapeur dans les tubes que lorsque la vapeur passe à l'extérieur des tubes.

Les ateliers de *Thames Iron Works Company* ont construit pour le transport *Earl de Gray* de la marine anglaise, un type à deux cylindres et à condenseurs à surface de la force de 332 chevaux indiqués. La traverse de piston est du genre de celle des forges et chantiers de la Méditerranée. Chaque cylindre a son condenseur placé du bord opposé. La vapeur passe à l'intérieur des tubes. La pompe de circulation est conduite par un bras de la tige inférieure du piston à vapeur, et la pompe à air par la tige supérieure du même organe. Les pompes de cale et d'alimentation ont leurs tiges fixées directement sur les pistons à vapeur. Ces deux pompes sont placées bout à bout et n'ont qu'un seul piston pour elles deux. Le corps de pompe le plus près de l'arbre sert à la cale. La surface refroidissante des condenseurs est seulement de $0^{m.c.},14$ par cheval indiqué.

N° 25_7 Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : types de Napier. — Dans les machines du type *Napier*, les traverses de piston n'ont que la glissière inférieure. L'arbre est en deux parties boulonnées sur le milieu de la longueur ; il est supporté par quatre paliers. — Les tiroirs, en coquille et à double orifice, sont placés sur le côté des cylindres ; chacun d'eux est conduit par un secteur à bielle directe, suspendu en son milieu. — L'organe de détente variable est un tiroir cylindrique conduit par un excentrique à secteur. — Il n'existe qu'un condenseur à surface pour les deux cylindres ; ce condenseur est placé dans la partie centrale, un peu

au-dessous des traverses de piston. Les tubes sont horizontaux, la vapeur les contourne. Les deux bâtis qui supportent le condenseur sont creux; l'un sert à amener l'eau provenant de la vapeur condensée, dans un compartiment inférieur de la plaque de fondation, dans laquelle la pompe à air aspire; l'autre sert de conduit de communication du condenseur avec la pompe de circulation. Il n'y a qu'une pompe à air et qu'une pompe à eau froide; chacune de ces pompes est conduite directement par une tige supplémentaire des pistons moteurs. Les pompes de cale et les pompes alimentaires sont menées, deux à deux, par un doigt des tiges supérieures des pistons moteurs.

Les machines de ce type sont très-dégagées et facilement accessibles dans toutes leurs parties. — On les rencontre sur un grand nombre de bâtiments anglais, et notamment sur *l'Hector*, cuirassé de 800 chevaux nominaux.

Des appareils de 300 chevaux construits postérieurement au type précédent se composent de deux cylindres horizontaux placés du même bord et jonctionnés entre eux. La traverse du piston à vapeur ne porte qu'un seul coulisseau fixé à la partie inférieure d'un palier boulonné sur cette traverse, et dans lequel oscille la soie du pied de bielle. L'arbre est en deux parties réunies par un tourteau central; cet arbre est porté par quatre paliers. Les tiroirs en coquille et à double orifice sont conduits par des secteurs. L'organe de détente variable est un tiroir à orifices multiples conduit par un excentrique à calage fixe. La modification du degré de détente est obtenue en faisant varier la course du tiroir, au moyen de l'installation suivante : la tige du tiroir de détente reçoit son mouvement d'un levier, oscillant sur un axe qui est placé assez près de l'extrémité du levier la plus rapprochée de la tige du tiroir, tige qui est réunie d'ailleurs à ce levier au moyen d'une petite bielle; la plus longue branche du levier est évidée en secteur, et dans ce secteur est articulé le pied de la bielle d'excentrique; on comprend qu'en rapprochant plus ou moins le pied de la bielle d'excentrique dans le secteur du point d'articulation de cette pièce, on diminue ou on augmente la course de l'organe de détente.

Un condenseur à surface unique dessert les deux cylindres; il est placé du bord opposé. Les deux tuyaux d'évacuation se réunissent pour n'en former qu'un, qui débouche au milieu du condenseur. La vapeur entoure les tubes, qui sont horizontaux et forment trois groupes superposés que l'eau de circulation parcourt successivement de bas en haut. La pompe à air et la pompe de circulation, toutes deux à double effet, sont conduites directement par les pistons à vapeur; elles sont du type à piston plongeur. — Une pompe alimentaire et une pompe de cale sont placées dans chaque machine, l'une au-dessus de l'autre, et au-dessous de la tige supérieure du piston; elles sont conduites par cette tige.

N° 25$_8$ Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange ou par surface : types de Ravenhill et Hodgson. — *Ravenhill et Hodgson* ont conservé, dans la construction de leurs machines à bielle en retour, les dispositions générales de leurs anciens appareils. — Les cylindres, les bâtis et les condenseurs reposent directement sur les carlingues.

Les bâtis ont la forme triangulaire ; ils sont boulonnés aux cylindres sur toute la hauteur de la face de ces récipients, et ne tiennent aux condenseurs que par la base. Le serrage des paliers s'effectue horizontalement ; les coussinets débordent de chaque côté et les longueurs des portées vont jusqu'à trois fois le diamètre de l'arbre. — Les traverses de piston sont en Z et ont une double glissière ; les pieds de bielle sont simples. — Les tiroirs, en coquille ordinaire, sont placés sur les côtés ; ces tiroirs sont conduits par des secteurs à bielle directe ; le bouton d'entraînement est sur une traverse portant deux douilles qui embrassent deux guides cylindriques. — Le changement de suspension des secteurs s'effectue au moyen d'un arbre de relevage commun ; cet arbre porte un secteur denté qui engrène avec une vis sans fin dont l'axe porte le volant de manœuvre. Ce volant est placé au-dessus des condenseurs. — Dans quelques appareils puissants, et notamment sur le *Lord Clyde*, l'arbre de relevage des secteurs est actionné par une petite machine à vapeur auxiliaire à deux cylindres.

Dans les machines où la condensation s'effectue par mélange, les condenseurs sont situés côte à côte entre les jougs des glissières, et les bâches sont en dehors. — Les pompes à air sont conduites par des tiges spéciales des pistons moteurs ; ces tiges passent au-dessous de l'arbre. — Les pompes de cale et les pompes alimentaires, placées côte à côte et accolées aux bâches, sont à piston plongeur ; ces pistons sont conduits directement par le bras supérieur des traverses des pistons moteurs. — Dans le dernier type, les condenseurs ordinaires sont remplacés par des condenseurs tubulaires reportés aux extrémités. La pompe à air est toujours conduite par une tige spéciale du cylindre moteur correspondant. L'eau de circulation est refoulée par des pompes centrifuges, mises le plus souvent en mouvement par l'arbre moteur au moyen d'une transmission par courroie.

On rencontre des machines de ce type sur divers bâtiments de la marine anglaise et notamment sur le bâtiment cuirassé *Lord Clyde*, dont la puissance de 1.000 chevaux nominaux a atteint 6.000 chevaux indiqués de 75^{kgm}. — Dans leur ensemble, ces machines sont robustes, suffisamment accessibles dans leurs parties essentielles et d'une surveillance facile.

N° 25_9 Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par mélange : type de Caird. — Le type des machines de ce constructeur présente à peu près les mêmes dispositions que celui des machines *Ravenhill* (n° 25_8) ; il en diffère par la disposition des condenseurs qui sont aux extrémités avant et arrière, tandis que les bâches sont entre les deux jougs des glissières et ont un tuyau de décharge commun. Les condenseurs et les bâches ont ainsi leurs sommets à la même hauteur, et ces sommets sont réunis par un conduit horizontal de forme carrée, faisant partie de chaque condenseur et qui recouvre les traverses des tiges de piston. — Les tiroirs sont sur les côtés des cylindres ; ils sont conduits par des secteurs Stephenson composés de deux arcs de même rayon, placés parallèlement l'un à l'autre et écartés d'une quantité égale au diamètre de la tige du tiroir. Ces arcs s'ajustent dans une glissière en bronze qui traverse une ouverture cylindrique pratiquée dans la tige du tiroir, et dans laquelle cette glissière peut

osciller. — L'organe de détente variable est superposé au tiroir; il est conduit par un secteur semblable à celui de ce dernier organe; ce secteur passe dans une glissière de même forme que porte une tige fixée à la boîte à tiroir et qui lui sert de centre d'oscillation, ce qui produit à la fois un changement de l'angle de calage et une variation de la course de l'organe de détente.

Dans leur ensemble, ces machines sont bien dégagées; mais la forme et le fini des différents organes laissent quelque peu à désirer.

N° 25_{10} Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à deux hélices), avec condensation par mélange : type de Westermann de Gênes. — L'appareil complet comporte quatre cylindres : deux pour chaque hélice. Ces cylindres sont vers le milieu du navire et laissent entre eux un espace qui permet de visiter facilement les pistons. — Les tiroirs, en coquille à double orifice, sont placés sur le côté des cylindres; ils ont deux tiges et sont conduits par des secteurs à bielle directe. — Le mécanisme de changement de suspension des secteurs est un simple levier muni d'une vis de frein, et à l'extrémité duquel se trouve un contre-poids pour équilibrer les secteurs. — Un tuyau de vapeur commun se bifurque transversalement au-dessus des deux machines, et forme deux branches portant chacune une soupape d'arrêt, de laquelle partent les tuyaux particuliers qui aboutissent aux cylindres. Il existe un registre au-dessus de chaque boîte à tiroir. — Les condenseurs sont en abord, entre les traverses de tige de piston qu'ils laissent à découvert; ces traverses n'ont que la glissière inférieure. Il n'y a qu'un condenseur par machine; la condensation s'opère par mélange, et une disposition particulière du tuyautage permet d'injecter avec l'eau de la cale. — La pompe à air est à double effet; elle est située en dehors et sur le côté. Elle est conduite par un bras de la tige de piston supérieure du cylindre avant. Les pompes de cale et les pompes alimentaires sont conduites par les tiges inférieures des pistons moteurs.

Ces machines se rencontrent sur de petits monitors italiens; elles sont robustes et bien confectionnées.

Force totale	nominale	70^{ch}
	indiquée	208^{ch} de 75^{km}
Introduction (variable avec les secteurs)		0,65
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},44$
	de chauffe	$0^{m.c},6730$

N° 25_{11} Machines ordinaires, horizontales à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type de Isherwood. — Les machines de ce type sont construites sur les plans de M. *Isherwood, mécanicien en chef des États-Unis;* elles ont deux cylindres à bielle renversée et un condenseur à surface unique qui sert de guide à la face supérieure des jougs des tiges de piston. Les paliers de l'arbre moteur ont une grande longueur, et les coussinets sont à double paroi avec circulation constante d'eau froide entre les deux; le serrage

est horizontal. Ces paliers sont disposés pour être complétement démontés et visités sans enlever l'arbre ; à cet effet, les demi-coussinets du fond sont cylindriques et reposent sur des cales, cylindriques au portage des coussinets et octogonales du côté du palier ; ces cales sont maintenues par deux fortes vis qui se manœuvrent par derrière. Après avoir enlevé le chapeau du palier et le demi-coussinet correspondant, on desserre les vis de fixation des cales, et ces pièces peuvent alors glisser dans le sens de l'arbre et être enlevées ; on fait ensuite tourner le demi-coussinet de 180 degrés. On opère la manœuvre inverse pour la remise en place des coussinets.

Les tiroirs, placés verticalement sur les côtés extérieurs des cylindres, sont à double orifice avec compensateur extérieur et à roulettes ; pour établir le compensateur, le cylindre porte sur le milieu de sa bande une forte nervure saillante sur laquelle se boulonne un cadre rectangulaire plein, dont les bords relevés frottent d'une manière étanche, mais sans garnitures, sur la partie intérieure du dos du tiroir ; ce dos est rapporté et boulonné sur le distributeur ; un trou percé en son milieu permet à la vapeur de pénétrer dans le compartiment formé par le cadre plein dont il vient d'être question, et toute la section du tiroir correspondante à ce cadre est soustraite à la poussée de la vapeur. — Les côtés du tiroir qui sont perpendiculaires aux barrettes de distribution sont beaucoup plus larges que d'habitude, et portent une rainure dans laquelle sont logés de petits galets cylindriques. Le tiroir porte à la fois sur ces galets et sur la bande du cylindre, ce qui diminue le frottement. Enfin, le bord inférieur du tiroir porte une rainure parallèle à la bande du cylindre, et dans laquelle sont logés des galets dont le bord est saillant ; ces galets roulent sur la partie inférieure de la boîte à tiroir et supportent ainsi le distributeur.

Les tiroirs sont conduits par des secteurs qui ont un arbre de relevage commun. Cet arbre est actionné par un petit cylindre à vapeur horizontal placé entre les deux cylindres de la machine. Les tiroirs ont chacun deux tiges qui sortent de la boîte du côté opposé à l'arbre, et qui viennent se fixer sur une traverse. Le plan des bielles du secteur passe en avant de la boîte à tiroir, et la traverse du distributeur reçoit un mouvement de va-et-vient du secteur, par l'intermédiaire d'un petit arbre horizontal perpendiculaire au plan de la table du cylindre, et de deux leviers verticaux. — Les presse-étoupe des tiges de tiroir sont très-allongés et servent de guide à ces tiges. — Cette disposition des tiges de tiroir et des secteurs permet d'avoir des bielles d'excentrique très-longues. — Il n'existe pas d'organe de détente variable.

Le condenseur, unique pour les deux cylindres, est placé au-dessus des traverses de piston ; les tubes sont horizontaux, la vapeur les contourne. La jonction des tubes sur la plaque de tête est opérée au moyen d'une bague en caoutchouc, logée dans l'épaisseur de la plaque et surmontée d'une bague en laiton qui glisse librement sur le tube, et dont la tête fait saillie en dehors. Toutes les garnitures en laiton sont pressées par une plaque de bronze maintenue par des boulons sur la plaque de tête du condenseur. — Sur quelques machines, le joint des tubes est obtenu tout simplement au moyen de bagues en bois de sapin comprimé (n° 48_{1}),

que l'on inserre entre le tube et la plaque de tête, et qui, en se gonflant au contact de l'eau, rendent les joints étanches.—La pompe à air est à double effet; son piston est conduit par la tige de piston inférieure du cylindre avant. La bâche communique par un autre tuyau muni d'un clapet automoteur avec le tuyau de décharge de la pompe de circulation. L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes du condenseur par une pompe à double effet, dont le piston est conduit par la tige de piston inférieure du cylindre arrière. La pompe à air et la pompe de circulation sont du système ordinaire, et leurs pistons ont une garniture composée de bois de gaïac, superposée en trois couches, et formant une longueur de 20 à 25 centimètres. La couronne du piston presse le bois de gaïac par l'intermédiaire d'une garniture en chanvre et d'une bague en bronze en forme de cornière, qui sépare la garniture en chanvre du gaïac. — Il n'existe qu'une seule pompe alimentaire à double effet, dont le piston est conduit par un bras de la tige de piston du cylindre avant. Cette pompe aspire l'eau dans la bâche de la pompe à air. Un petit tuyau muni d'un robinet met en communication la chambre à eau du condenseur et la bâche de la pompe à air, ce qui permet de réparer les pertes d'eau douce. — Une seule pompe de cale, également à double effet, est conduite par un bras de la tige de piston du cylindre arrière.

Sur quelques bâtiments, la butée, qui est du système ordinaire à collets, est complétée par un palier mobile dans une glissière parallèle à l'axe et placée sur l'avant. Ce palier est lié à la butée au moyen de deux forts tirants avec écrous; l'arbre porte un tourteau solidement claveté, qui vient appuyer sur le palier par l'intermédiaire d'une série de boulets; ces derniers sont logés dans une rainure circulaire, creusée mi-partie dans le palier et mi-partie dans le tourteau de l'arbre. Cette disposition a pour but de diminuer le frottement des collets de la butée lorsqu'il se produit un échauffement intense, en faisant supporter une partie de l'effort de poussée par le système que nous venons de décrire. Il suffit pour cela de serrer les écrous des deux tirants, ce qui rapproche le palier mobile de la butée, et par suite du tourteau de l'arbre, de manière à faire appuyer de plus en plus ce tourteau sur les boulets. On pourrait même, en serrant suffisamment, faire cesser le contact des collets de l'arbre avec la butée proprement dite; mais il ne faut jamais en arriver là, à cause de la petite surface de contact des boulets. Ces derniers pourraient d'ailleurs être utilement remplacés par des galets ayant la forme d'un tronc de cône, et dont les axes se rencontreraient sur l'axe de l'arbre.

La vapeur est fournie par des chaudières type Martin (n° 156_8 du *Gd Traité* et n° 61_1), à tubes verticaux, comportant 28 foyers en 4 corps. Il existe de plus une petite chaudière spéciale à deux foyers qui sert de sécheur; cette chaudière contient une petite quantité d'eau, et les produits de sa vaporisation s'ajoutent à ceux des chaudières ordinaires. — Une disposition particulière du tuyautage permet de supprimer la surchauffe.

On rencontre les machines qui nous occupent sur les frégates type *Guerrière* et sur les corvettes type *Contoocok*. Les appareils moteurs des canonnières n'en diffèrent pas sensiblement.

Puissance effective		2.000ch de 75km
Pression absolue aux chaudières		2at,75
Introduction fixe		0,66
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	2dm·c,53
	de chauffe	0m·c,5800
	refroidissante	0m·c,2135

N° 25_{12} Machine ordinaire, inclinée renversée à bielle en retour (à hélice), avec condensation par surface : type d'Ériccson. — Les machines construites, d'après les plans de M. *Ériccson*, pour la corvette rapide le *Madawaska*, se composent de deux cylindres inclinés à 17°30′ sur l'horizontale et adossés. Les tiges de piston communiquent un mouvement alternatif à deux arbres latéraux placés en abord. Ceux-ci conduisent les grandes bielles motrices qui, passant sur l'arrière des cylindres, viennent, en retour, s'appliquer sur un coude unique de l'arbre de couche. — Les cylindres sont entourés par une chemise qui sert de conduit d'évacuation. Ils sont assis sur deux grands bâtis transversaux qui portent les glissières des traverses de piston et les paliers des arbres latéraux. Dans leur partie inférieure, ces bâtis portent chacun un palier de l'arbre de couche. Un troisième bâti supporte l'arbre de couche en arrière de son coude unique. — Tous les paliers sont à circulation d'eau comme dans les machines d'*Isherwood* (n° 25_{11}). — Chaque piston porte deux tiges placées dans un plan parallèle à l'axe transversal. La traverse qui les réunit et leur sert de guide porte deux petites bielles renversées qui conduisent un grand bras claveté sur l'arbre latéral. Sur le prolongement de cet arbre latéral, et à l'arrière des cylindres, se trouve claveté le second bras sur lequel s'articule le pied de la grande bielle. — Les deux faces de chaque piston sont formées par des calottes sphériques; ces pistons sont creux et ils sont renforcés par un étai central et quatre étais disposés symétriquement autour du premier, et dont deux correspondent aux tiges de piston. Les têtes de bielle sont à chappe avec clavette de serrage. Les chapeaux des presse-étoupe des tiges de piston et ceux des tiges de tiroir sont taraudés sur les boîtes à étoupe (n° 35_8) et se serrent en marche, au moyen d'une vis sans fin dont l'axe reçoit son mouvement d'une roue à manettes, et par l'intermédiaire d'un engrenage.

Les tiroirs sont placés sur l'avant des cylindres et leurs excentriques sont portés par le prolongement de l'arbre de couche, dont le diamètre est considérablement réduit sur ce point. Chaque tiroir est en deux parties qui se meuvent dans des compartiments séparés de la boîte à tiroir; chacun de ces compartiments possède son conduit d'arrivée de vapeur, et a une évacuation spéciale. Chaque portion de tiroir glisse dans une enveloppe rectangulaire et possède une tige distincte. Les deux tiges sont reliées par une pièce en fer forgé, en forme de V, à une tige principale qui glisse dans des guides portés par le couvercle de la boîte. Cette dernière tige reçoit son mouvement d'un excentrique unique par l'intermédiaire d'un levier coudé.

Le mécanisme de renversement de marche est du système à un seul excentrique à calage variable sans déclanche. Les deux chariots d'excen-

trique, un pour chaque tiroir, sont solidaires. Ces chariots portent une roue d'engrenage conique qui embrasse l'arbre, et qui est commandée par deux autres roues semblables, diamétralement opposées, et dont les axes, dans le prolongement l'un de l'autre, sont fixés sur l'arbre perpendiculairement à son axe. — Chacune de ces dernières roues fait corps avec un pignon engrenant avec une crémaillère parallèle à l'arbre; les deux crémaillères sont portées par des manchons qui tournent avec l'arbre, mais qui sont mobiles dans le sens de sa longueur. Un levier actionné par le piston d'une presse hydraulique déplace les manchons des crémaillères dans le sens de l'axe, et il en résulte un mouvement angulaire des deux chariots d'excentrique qui est égal à l'angle du toc, et qui est limité par deux forts butoirs. — L'eau est refoulée dans la presse hydraulique du mécanisme de renversement de marche par un petit cheval spécial placé près de la machine.

L'organe de détente est conduit par des cames. — L'obturateur est formé par des papillons logés dans les orifices mêmes du cylindre; il résulte de cette disposition des obturateurs que les papillons doivent être ouverts pendant toute la période d'évacuation, et que par suite chacun d'eux doit être conduit par une came spéciale, qui le ferme au point voulu de la course du piston, qui l'ouvre peu après que la période de détente naturelle a commencé et le laisse dans cette position jusqu'à la nouvelle fermeture, qui a lieu un tour après la précédente. Au surplus, dans chaque orifice, les palettes sont doubles avec une largeur plus grande que celle de l'orifice, de sorte qu'elles ferment en s'appuyant l'une sur l'autre. Les axes des deux palettes conjuguées se commandent par un petit engrenage, et l'un de ces axes porte à l'extérieur un petit pignon sur lequel agit un secteur denté qui reçoit un mouvement d'oscillation de la came correspondante.

Les deux condenseurs, semblables à ceux des appareils *Isherwood* (n° 25_{11}), sont placés sur l'avant des machines et communiquent par leur partie supérieure, ce qui permettrait de fonctionner au besoin avec un seul condenseur. L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes de chaque condenseur par une pompe rotative mise en mouvement par une machine auxiliaire horizontale à deux cylindres. — Cette machine conduit également pour chaque condenseur deux pompes à air à simple effet, une pompe alimentaire et une pompe de cale. Les bâches des pompes à air communiquent avec les tuyaux de refoulement des pompes de circulation, au moyen d'un tuyau muni d'un clapet de retenue. — La vapeur est fournie aux cylindres par des chaudières Martin (n° 156_2 du *Gd Traité* et n° 61_1), comprenant 54 foyers en 8 corps, plus quatre petites chaudières à un seul foyer et destinées à surchauffer la vapeur et à réparer les pertes. — Le tuyautage est disposé pour qu'on puisse à volonté supprimer la surchauffe.

Ces machines sont très-compliquées dans toutes les transmissions de mouvement, aussi bien pour les tiroirs et les détentes que pour l'arbre de couche, et elles sont d'une surveillance extrêmement difficile, surtout en ce qui concerne les tiroirs et les organes de détente. — La multiplicité des

pièces de la transmission de mouvement des pistons à l'arbre de couche augmente considérablement les chances d'avaries, sans que cet inconvénient soit compensé par l'avantage d'avoir un arbre de couche avec un coude unique.

Contrairement aux machines du type *Isherwood*, qui fonctionnent à pleine introduction (0,66 environ), la machine qui nous occupe fonctionne à grande détente; mais elle présente un inconvénient sérieux au point de vue de l'utilisation, c'est que les cylindres sont entourés par une chemise qui sert de conduit d'évacuation et qui doit refroidir notablement ces cylindres.

Ce type de machine n'est pas répandu dans la flotte américaine, on ne le rencontre guère que sur la corvette à grande vitesse *Madawaska*.

Puissance effective		4.000ch de 75km
Pression absolue aux chaudières		2at,75
Introduction dans les cylindres	fixe	0,30
	variable jusqu'à	0,10
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	2dm.c,625
	de chauffe	0m.c,6580
	refroidissante	0m.c,1587

N° 26. — 1. Machines ordinaires, verticales droites à fourreau (à hélice avec engrenage), avec condensation par mélange : types de la Ciotat et des forges et chantiers de la Méditerranée. — 2. Machines ordinaires, horizontales à fourreau (à hélice), avec condensation par surface : type de Penn. — 3. Machines ordinaires, horizontales à fourreau (à hélice), avec condensation par mélange : types de Cowan et de Rennie. — 4. Machines ordinaires, horizontales à fourreau à trois cylindres côte à côte points morts à 120° (à hélice), avec condensation par surface : type de Jüngermann.

N° 26₁ Machines ordinaires, verticales droites à fourreau (à hélice avec engrenage), avec condensation par mélange : types de la Ciotat et des forges et chantiers de la Méditerranée. — Les machines à fourreau construites à *La Ciotat*, pour des paquebots des *Messageries maritimes*, sont à deux cylindres verticaux placés dans l'axe du bâtiment, avec une transmission de l'arbre moteur à celui de l'hélice dans le rapport de 1 à 2,04. Les pistons n'ont que des demi-fourreaux. — L'arbre moteur repose sur les trois paliers avant d'un entablement semblable à celui des machines oscillantes, et qui est supporté par huit colonnes en fer forgé, avec croix de Saint-André sur les deux de l'avant et sur les deux de l'arrière. L'arbre de la grande roue est supporté par le palier arrière de l'entablement et par un deuxième palier indépendant de la machine; la liaison de l'arbre moteur à l'arbre de la roue est faite par l'intermédiaire d'une manivelle de ce dernier arbre qui reçoit, avec cales de touche, le tourillon d'une manivelle de l'arbre moteur. — Deux condenseurs ordinaires sont placés à la suite l'un de l'autre, entre les deux cylindres; chacun d'eux est desservi par une pompe à air à simple effet et à demi-fourreau. Les cylindres de pompe à air sont d'un même côté et accolés aux condenseurs; ils sont inclinés, et

les pistons reçoivent leur mouvement de deux excentriques montés sur l'arbre moteur.

Les tiroirs sont en coquille et placés sur les côtés des cylindres, du même bord que les pompes à air; ils sont conduits par des secteurs horizontaux qui oscillent un peu au-dessus des condenseurs; le mouvement de chaque secteur est transmis au tiroir correspondant par l'intermédiaire d'un arbre à leviers, supporté par deux paliers fixés aux colonnes de l'entablement. Les deux secteurs ont un arbre de relevage commun mis en mouvement par un engrenage à vis sans fin. Le volant de manœuvre est du bord opposé aux pompes à air. — L'organe de détente variable est un papillon placé dans le tuyau d'arrivée de vapeur de chaque cylindre, et dont l'axe vertical reçoit un mouvement d'oscillation d'un excentrique à calage fixe; le changement d'introduction s'obtient en faisant varier l'amplitude de l'oscillation du papillon.

Ces machines ont l'inconvénient grave d'avoir les cylindres accolés aux condenseurs; après cela, et en tant que machines à fourreau, elles constituent un type parfaitement réussi. — Ce type se rencontre sur un grand nombre de navires du commerce du port de Marseille, et notamment sur les paquebots des messageries maritimes *Tigre*, *Saïd*, *Hoogly*.

Puissance indiquée		1.800^{ch} de 75^{km}
Introduction fixe		0,65
Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,70
	de chauffe	0$^{m.c}$,4100

L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a construit un grand nombre de machines verticales droites, à demi-fourreau, à transmission dans le rapport de 49 à 100, et dont la puissance nominale varie entre 500 et 140 chevaux. — Ces machines ne diffèrent pas sensiblement du type de *La Ciotat;* elles ont été montées sur des paquebots appartenant à des compagnies diverses, notamment sur les paquebots *Masr* et *Garbier*, construits pour le vice-roi d'Égypte.

Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Introduction		0,65
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,70
	de chauffe	0$^{m.c}$,4200

N° 26_2 Machines ordinaires, horizontales à fourreau (à hélice), avec condensation par surface : type de Penn. — Les machines de ce constructeur, toujours remarquables par la perfection d'ajustage et leur légèreté relative, présentent peu de variété dans leurs dispositions. — Les cylindres ainsi que les fonds et les couvercles sont munis d'enveloppes; la vapeur qui arrive dans ces enveloppes ne passe pas dans les cylindres; les produits de la condensation sont envoyés à la bâche. — Les presse-étoupe des fourreaux sont toujours sans garniture métallique. — Les tiroirs, en coquille à double orifice et à compensateur, sont placés sur les côtés des cylindres et sont conduits par des secteurs à bielle directe. Il existe un volant de manœuvre pour changer la suspension de chaque secteur, au moyen d'une série d'engrenages. — Les

organes de détente sont des tiroirs à orifices multiples et à course variable; ils sont placés au-dessus des boîtes à tiroir. Ces organes reçoivent leur mouvement d'un excentrique, par l'intermédiaire d'un levier dont le point d'oscillation est fixe; la variation de la course de l'organe de détente s'obtient par le déplacement du pied de bielle d'excentrique sur son levier de transmission de mouvement. — Pour la mise en marche, la manœuvre de la machine s'effectue au moyen de petits tiroirs qui démasquent des orifices aboutissant aux conduits d'introduction des cylindres. — Avant de pénétrer dans la boîte à détente, la vapeur passe dans une caisse qui surmonte cette boîte, et dans laquelle une cloison inclinée l'oblige à changer brusquement de direction; de sorte que la vapeur laisse au fond de cette caisse, que l'on nomme *séparateur*, la plus grande partie de l'eau qu'elle contenait. Les séparateurs se purgent à la bâche. — Outre les soupapes de sûreté ordinaires, il existe sur chaque cylindre deux petites soupapes de sûreté de forme conique, qui communiquent par leur partie inférieure avec les conduits des tiroirs de manœuvre; ces soupapes sont chargées par la vapeur du séparateur et par un petit ressort en laiton. Cette disposition a pour but de permettre l'évacuation de l'eau des cylindres sans qu'il en résulte aucune fatigue pour les fonds.

Les condenseurs sont cylindriques et à tubes verticaux; ils sont placés à l'opposé des cylindres, en face des conduits d'évacuation. Les tubes sont rendus étanches au moyen de rondelles de bois comprimé (n° 48$_2$). Les condenseurs sont disposés pour que la machine puisse fonctionner avec la condensation par mélange. — Les pompes à air sont horizontales et à double effet; chacune d'elles est conduite par une tige du piston moteur correspondant.— Les pompes alimentaires et les pompes de cale, disposées par paire l'une à la suite de l'autre, sont conduites directement par une tige du piston moteur. — L'eau de circulation est envoyée dans les condenseurs par deux pompes centrifuges mues par une petite machine spéciale. Ces pompes sont disposées pour servir, au besoin, de pompe de cale.

Le type qui nous occupe se rencontre sur un grand nombre de bâtiments de la marine militaire anglaise, et notamment sur les bâtiments suivants :

Bellerophon, frégate cuirassée		1.000 ch. nominaux.
Hercules, frégate cuirassée		1.200 . . . *id.* . . . .
Achilles / *Blac-Prince*	frégates cuirassées	1.250 . . . *id.* . . . .
Minautor / *Northumberland*	frégates cuirassées	1.350 . . . *id.* . . . .
Défense / *Résistance*	corvettes cuirassées	600 . . . *id.* . . . .
Sapho, corvette cuirassée		350 . . . *id.* . . . .
Introduction	fixe	0,625
	variable jusqu'à	0,166
Pression absolue aux chaudières		2^{at},75
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,20
	de chauffe	0$^{m.c}$,3800
	refroidissante	0$^{m.c}$,2300

L'appareil de 500 chevaux nominaux de la frégate cuirassée *l'Aréthuse*, du même constructeur, diffère peu du type précédent. Il n'y a qu'un seul tuyau d'évacuation pour les deux cylindres. Ce tuyau vient déboucher moitié par moitié dans les condenseurs à surface placés du bord opposé aux cylindres, accolés l'un à l'autre et formant une seule pièce. Les tubes sont horizontaux et en deux faisceaux. L'eau de circulation les contourne et la vapeur passe en dedans. Il n'y a que deux grandes pompes; une pour chaque machine. Ces pompes, conduites chacune par une tige fixée directement sur le piston à vapeur, en dedans des axes des cylindres, sont à double effet, et servent d'un côté comme pompe à air et de l'autre comme pompe de circulation. Les pompes alimentaires et les pompes de cale ont aussi leurs tiges fixées sur les pistons à vapeur, en dehors des axes des cylindres.

Puissance indiquée.	2.871^{ch} de 75^{km}
Surface refroidissante par cheval indiqué.	$0^{m.c},2370$

N° 26_3 Machines ordinaires, horizontales à fourreau (à hélice), avec condensation par mélange : types de Cowan et de Rennie. — *M. Cowan*, de *Greenwich*, a construit un type de machines ayant pour but de conserver les dispositions avantageuses des machines à fourreau, tout en écartant les défauts qui leur sont propres. A cet effet, le piston est muni de deux tiges placées dans le plan vertical, et réunies par une traverse qui se meut entre le cylindre et l'arbre. Cette traverse est prolongée par un appendice dont l'extrémité glisse entre deux guides plans, fixés à l'intérieur du fourreau venu de fonte avec le couvercle du cylindre, et qui pénètre dans ce dernier récipient. Ce fourreau est logé dans un manchon semblable fixé sur le piston; et ce dernier manchon pénètre dans un troisième fourreau adapté sur le fond du cylindre. — La grande bielle présente une fourche très-allongée, qui embrasse la traverse et va s'articuler à l'extrémité de cette pièce, à la hauteur du piston. — Les autres parties de l'appareil de *M. Cowan* sont conformes à celles des machines à fourreau ordinaires. — Il est évident que, grâce à ce système, la section entière du piston est soumise à l'action de la vapeur, et que, par suite, le cylindre ne doit pas avoir des proportions supérieures à celles des machines ordinaires de même puissance. Mais la diminution de l'étendue des surfaces refroidissantes est plus apparente que réelle; car si on gagne d'un côté, sur l'étendue du contour extérieur des cylindres, les surfaces refroidissantes intérieures sont considérablement augmentées par l'addition d'un fourreau sur le piston. — Il ne reste d'incontestablement acquis que la suppression complète des garnitures des fourreaux et des rentrées d'air qui ont généralement lieu par ces garnitures.

MM. Rennie ont confectionné des machines à un seul fourreau, à deux cylindres en échiquier avec condenseurs par mélange accolés aux cylindres. Chaque cylindre a son condenseur près de lui. Les tiroirs, à double orifice et à compensateur, sont placés sur les côtés des cylindres opposés aux condenseurs, et les tuyaux d'évacuation partant des boîtes à tiroir,

passent au-dessus des cylindres pour aller rejoindre les condenseurs. — Sur la soie de chaque grande manivelle, et à côté de la grande bielle, se trouve articulée une autre bielle de plus faibles dimensions, qui donne le mouvement à la pompe à air, à fourreau et à simple effet, du condenseur de l'autre machine. Le piston de pompe à air porte deux oreilles sur lesquelles sont fixés les pistons plongeurs des pompes alimentaires et de cale. — La disposition du serrage des coussinets de pied de bielle, qui sont à l'intérieur du fourreau à vapeur, est ingénieuse : la bielle est percée à son extrémité d'un trou concentrique à son axe, et assez long pour que le fond de ce trou soit en dehors du fourreau. Là, une clavette transversale actionnant une tige placée dans le trou précité, et qui appuie sur le coussinet intérieur du pied de bielle, permet de donner le serrage voulu. Les articulations des bielles sont à chappe, genre Creusot.

N° 26₄ Machines ordinaires, horizontales à fourreau à trois cylindres côte à côte points morts à 120° (à hélice), avec condensation par surface : type Jüngermann. — En ce moment où les machines Woolf à haute pression et à grande détente sont en faveur, la marine allemande semble vouloir s'en tenir, au moins pour certains cuirassés, au système des machines ordinaires à moyenne pression. L'appareil du cuirassé à deux tourelles le *Konig Friedrich der Grosse* comporte trois cylindres horizontaux à fourreau, avec introduction directe dans chacun d'eux. Les manivelles sont calées à 120°. Les chemises des cylindres ont été fondues à part, suivant le système généralement adopté aujourd'hui. Les glaces des cylindres sont rapportées. Les tiroirs ont six orifices, trois pour chaque bout de cylindre. Les barrettes extrêmes sont séparées; elles sont reliées au tiroir proprement dit par une charnière sur laquelle agit un ressort, pour assurer le contact sur la glace du cylindre. Cette disposition est très-avantageuse pour éviter les porte-à-faux. L'évacuation de chaque bout de cylindre se fait seulement par les deux orifices intérieurs. Les tiroirs sont placés sur le dos des cylindres; ils ont chacun deux tiges attelées à un té commandé par deux bielles, articulées d'autre part sur deux coudes d'un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur, et recevant son mouvement de ce dernier. Cet arbre des tiroirs est en trois parties reliées par des tourteaux boulonnés. La mise en train est du genre Mazeline. La machine peut être manœuvrée soit à la main, soit à l'aide d'une petite machine de mise en marche qui se compose de deux cylindres verticaux. L'arbre de couche est en trois parties, comme l'arbre des tiroirs; il est supporté par six paliers.

Il n'existe que deux condenseurs à surface pour les trois cylindres; la vapeur du cylindre milieu passe dans les tuyaux d'évacuation des cylindres extrêmes. Ces condenseurs sont tout à fait séparés, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, à tribord. Au milieu, entre les deux condenseurs, se trouve la petite machine et la plate-forme de mise en train. — La pompe à air de chaque condenseur est horizontale à double effet; elle est conduite directement par une tige spéciale du piston à vapeur opposé. — Les pompes de circulation, une par condenseur, sont du système centrifuge; elles sont conduites par une machine unique à deux cylindres verticaux, dont les

tiroirs portent un mécanisme de détente variable. L'eau de circulation peut être prise à la mer ou à la cale. Ces pompes sont aussi disposées pour extraire l'eau de la cale sans passer par les condenseurs.

Les pompes de cale et les pompes alimentaires sont placées sur l'avant; elles sont mues par un mouvement de sonnette actionné par une bielle articulée sur un bouton excentré du bout de l'arbre, au moyen d'un disque claveté. Les pompes de cale peuvent être désembrayées. — La vapeur est fournie par six chaudières à faces planes, comprenant 30 fourneaux. — On rencontre des machines de ce type sur plusieurs cuirassés allemands à deux tourelles.

Puissance indiquée		5.400ch de 75km
Pression absolue aux chaudières		3at,00
Surface par cheval indiqué prévu, de 75km sur les pistons	de grille	1dm.c,20
	de chauffe	0m.c,3000
	refroidissante	0m.c,2240

CHAP. II, § 3. — DESCRIPTION DES TYPES RÉCENTS DE MACHINES WOOLF OU COMPOUND A HÉLICE.

27. — 1. Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180° (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — 2. Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Wymer. — 3. Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Maudslay. — 4. Machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant. — 5. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Scott. — 6. Machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Gilbert et Cooper. — 7. Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Perkins et fils. — 8. Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Allibon et Noyes. — 9. Machine Woolf, à pilon à bielle en retour à une paire de cylindres superposés points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type anglais.

N° 27_1 Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180° (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a construit pour le paquebot *Étoile du Chili*, appartenant à MM. *Germain Hermanos*, du Havre, un type remarquable du système Woolf à quatre cylindres, deux pour l'introduction directe et deux pour la détente. Cet appareil, qui est d'une puissance no-

minale de 300 chevaux, est représenté en *fig. 2, pl.* V. Il fonctionne avec la condensation par surface. La vapeur est fournie par des chaudières à tubes bouilleurs verticaux et horizontaux système *Dupuy de Lôme* (n° 61_1). Il ne consomme que 0kr,85 de charbon par cheval et par heure. Fig. 2, Pl. V.

La plaque de fondation est en deux parties avec jonction transversale sur le milieu de sa longueur. Elle porte deux lignes de paliers : l'une dans l'axe du bâtiment est pour l'arbre de couche; l'autre parallèle à la première, mais plus élevée et placée à tribord, est pour l'arbre des tiroirs. Les paliers de l'arbre de couche sont noyés dans la plaque de fondation; ceux de l'arbre des tiroirs sont rapportés. Les arbres sont en deux parties reliées par des tourteaux boulonnés et venus de forge avec les bouts d'arbres; chacun d'eux est supporté par six paliers. — La partie bâbord de la plaque de fondation forme le réservoir inférieur d'un condenseur à surface unique, dont les tubes sont horizontaux. Ce condenseur, très-allongé dans le sens longitudinal, vient se boulonner sur cette partie de la plaque de fondation; il est surmonté par cinq bâtis rectangulaires sur lesquels se boulonnent des appendices de même forme, mais arrondis à leur partie supérieure, et venus de fonte avec les cylindres. Ces bâtis supportent les cylindres concurremment avec six colonnes en fer forgé, placées à tribord, sur la plaque de fondation. Le bâti du milieu est creux dans toute sa longueur, et sert de conduit d'évacuation aux deux cylindres de détente.

L'arbre moteur a quatre coudes qui se partagent le cercle; les coudes des cylindres qui emploient la même vapeur sont diamétralement opposés. — Les quatre cylindres sont dans l'axe du bâtiment, ceux d'admission directe aux extrémités. Chaque cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant sont d'un même jet de fonte; leurs parois sont séparées par une enveloppe de vapeur qui fait le tour des cylindres jusqu'aux boîtes à tiroirs, et qui communique directement avec la chaudière. La vapeur qui travaille dans les cylindres ne passe pas dans les enveloppes. — Les glissières, une pour chaque tige de piston, sont rapportées sur le condenseur et les bâtis; celles des tiges de tiroir sont venues de fonte avec les boîtes de ces organes. — Les pieds des grandes bielles sont à fourche et portent leurs tourillons; chacun de ces tourillons est embrassé par un palier faisant corps avec le coulisseau de glissière, et sur lequel vient se fixer la tige du piston. Les tourillons des pieds de bielle des cy-

lindres détendeurs sont prolongés, avant et arrière, et chacun d'eux mène un double balancier dont les flasques oscillent au-dessus du condenseur. Chacun de ces balanciers conduit une pompe : celui de l'avant mène la pompe à air, celui de l'arrière mène la pompe de circulation.

Les tiroirs sont en coquille, avec compensateur circulaire pour ceux des cylindres admetteurs; ils sont conduits directement par l'arbre spécial dont il a été parlé et qui possède quatre coudes. — Les boîtes à tiroir font face à tribord. La mise en train est du système Mazeline. — Chacun des cylindres d'introduction est muni d'un organe de détente variable placé sur le côté de la boîte à tiroir, et dont les plaques de frottement sont perpendiculaires à l'axe de l'arbre. Chaque organe de détente est conduit par un excentrique à calage variable, sans mécanisme de déclanchement. On supprime le fonctionnement de la détente variable, en ouvrant une soupape de communication placée entre la boîte de cet organe et la boîte à tiroir.

Le tuyau général de conduite de vapeur débouche au-dessus des cylindres et au milieu de la machine, dans une boîte d'arrêt formant registre; de cette boîte partent deux conduits dont l'un aboutit à la boîte à détente du cylindre arrière, et l'autre à la boîte à détente du cylindre avant. — Après avoir travaillé dans les cylindres admetteurs, la vapeur évacue directement dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs; le volume de ces derniers cylindres est 3,187 fois celui des premiers, qui ont une introduction fixe de 0,71, ce qui procure une introduction effective de 0,222. Cette introduction peut encore être diminuée par l'emploi de la détente variable.

Cette machine a un mouvement de rotation très-régulier, et a donné des résultats économiques remarquables. Il n'en pouvait être autrement, car non-seulement elle possède tous les avantages résultant de l'emploi d'une grande détente, d'une pression initiale élevée et d'un condenseur à surface, mais la vapeur y est mieux utilisée que dans les autres types Woolf. Cette vapeur se détend en effet très-régulièrement; elle ne subit qu'une faible perte de chaleur avant de pénétrer dans les cylindres admetteurs, puisqu'elle ne passe pas dans les enveloppes; de plus, en raison de la proximité des boîtes à tiroir, la chute de pression qui résulte du passage de la vapeur du cylindre admetteur dans le cylindre détendeur correspondant, est réduite à son minimum.

(Voir, pour les dimensions et la régulation de cet appareil, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 27_2 Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Wymer. — Dans ce type, le cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant sont accolés, et du même jet de fonte ; ils sont placés transversalement au bâtiment. Ces cylindres sont supportés par des colonnes creuses dont l'une sert de condenseur. Chaque piston a deux tiges qui sont fixées sur une traverse ; cette dernière est guidée par des glissières placées sous les cylindres et boulonnées à la partie inférieure, sur les bâtis des grands paliers. Cette traverse porte une soie placée entre les deux tiges du piston, et sur cette soie est articulée une menotte. Les menottes des deux cylindres conjugués sont articulées à leur partie supérieure, sur un balancier, horizontal dans sa position moyenne, et oscillant sur un axe attenant aux bâtis verticaux sur lesquels s'appuient les cylindres. Ce balancier porte, de l'autre côté de l'axe d'oscillation, un contre-poids assez fort qui équilibre en partie le poids des pistons. Enfin la grande bielle est articulée à sa partie supérieure sur le balancier en question, entre les soies des menottes des deux cylindres. Il n'y a qu'un tiroir pour les deux cylindres de chaque machine ; il est conduit par un secteur Stephenson. La disposition des barrettes de ce tiroir est à très-peu près celle de la machine représentée en *fig.* 4, *pl.* V. — Les deux tiroirs sont placés dos à dos entre les deux machines. — Les condenseurs qui, comme nous l'avons dit, servent de support aux cylindres, sont à surface et à tubes verticaux, la vapeur passant à l'intérieur des tubes. La pompe à air et la pompe de circulation sont conduites directement par la traverse du cylindre détendeur ; la pompe de cale et la pompe alimentaire sont conduites par la traverse du cylindre admetteur.

Cet appareil, d'une puissance nominale de 250 chevaux, se distingue surtout par la facilité de l'accès à toutes les pièces et le peu de volume qu'il occupe. Il est à remarquer qu'ici, contrairement à ce qui a lieu habituellement, les courses des deux pistons d'une même machine sont inégales ; le cylindre admetteur qui est placé le plus près de l'axe d'oscillation du balancier a la plus faible course. Le rapport des courses est égal à 2, et le volume du cylindre détendeur est égal à 4 fois celui du cylindre admetteur.

N° 27_3 Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Maudslay. — Le type des machines construites par *Maudslay* pour les paquebots de la Compagnie transatlantique *France* et *Amérique* est représenté en *fig.* 1, *pl.* V ; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous les organes de cet appareil. — La plaque de fondation ne supporte que les bâtis des cylindres et l'arbre de couche ; cette plaque, les pompes à air et le condenseur sont assis sur une charpente en tôle rivetée au bâtiment, et à quatre carlingues longitudinales en fer. Cette charpente forme une espèce d'encaissement dont les faces verticales transversales entre les carlingues sont munies de trous f_1, *vue* 1°, qui permettent de circuler librement au-dessous de l'appareil moteur. — Une couche de bois de teack est inter- Fig. 1, Pl. V.

posée entre la charpente précitée et les pièces de la machine. La plaque de fondation porte quatre paliers pour l'arbre moteur, et a trois évidements : deux pour le passage des grandes bielles, et un au milieu, pour le passage des excentriques de tiroir et des excentriques de détente. — Les bâtis ont une section rectangulaire ; ils sont creux, et leur partie inférieure est évasée pour laisser libre le passage de la grande bielle.

L'appareil comporte deux paires de cylindres bout à bout avec axes et points morts communs, les cylindres admetteurs en dessus. — Les couvercles des cylindres détendeurs sont du même jet de fonte que ces cylindres. Les fonds sont dressés extérieurement, sur une partie annulaire destinée à recevoir un appendice conique creux *n'*, *vue* 1°, appartenant au couvercle du cylindre admetteur; ce couvercle est aussi du même jet de fonte que le cylindre, et son appendice sert de bâtis à ce dernier. — Les deux pistons de la même paire de cylindres sont montés sur une tige commune; les emmanchements sont coniques et le serrage s'effectue au moyen d'écrous. Le cylindre admetteur est assez éloigné du cylindre détendeur pour que la tige commune aux deux pistons soit munie d'un presse-étoupe extérieur, sur le couvercle du premier et sur le fond du second. On travaille à ces presse-étoupe en passant les outils par deux larges fenêtres ménagées sur le pourtour du bâti *n'*. Cette disposition permet d'éviter l'inconvénient grave résultant des fuites qui se produisaient, par le presse-étoupe métallique du fond commun aux deux cylindres conjugués, dans les premières machines Woolf à pilon construites par *Maudslay*.

Les cylindres détendeurs sont munis d'enveloppes qui reçoivent directement la vapeur des chaudières; la vapeur est également introduite dans les doubles fonds de ces cylindres. L'eau provenant de la vapeur condensée dans ces enveloppes et dans ces doubles fonds est évacuée de temps à autre dans les bâches, au moyen de tuyaux de purge munis de robinets qui se manœuvrent à la main. — On pénètre dans les cylindres en démontant les bouchons 3, *vue* 1°, représentés sur leurs couvercles. — Tous les cylindres sont munis de soupapes de sûreté semblables à celles qui sont représentées en 1, *vue* 1°, pour le cylindre détendeur. Chacune de ces soupapes correspond à un orifice du cylindre; elle est contretenue par un ressort à boudin dont on règle à volonté la tension, au moyen de l'écrou en bronze taraudé dans l'extrémité de la boîte enveloppe. — La tige de piston de chaque cylindre détendeur traverse un presse-étoupe dont le serrage peut être effectué en marche. A cet effet, le chapeau est tenu par deux boulons fixés à la boîte à étoupe; deux pignons, 2, *vue* 1°, d'un égal diamètre, servent d'écrou à ces boulons et engrènent avec une roue capelée à l'extrémité inférieure du chapeau et maintenue par une rondelle. En agissant sur l'un quelconque des pignons, on serre sur les deux boulons à la fois et de la même quantité.

La traverse de piston porte quatre tourillons, deux à deux opposés et placés par paire à angle droit, dans le même plan horizontal. Deux de ces tourillons, dont l'axe est transversal, appartiennent au coulisseau; les deux autres, dont l'axe est parallèle à celui de l'arbre, appartiennent à la grande bielle.—Les glissières G, *vue* 1°, sont rapportées sur les bâtis ; celle

de tribord n'appuie que par ses extrémités et par trois nervures espacées sur sa longueur. Entre cette glissière et le bâti correspondant se trouve une cavité 5, *vue* 1°, dans laquelle circule constamment de l'eau froide prise sur le tuyau de refoulement de la pompe de circulation. Cette disposition a pour but d'empêcher la glissière de s'échauffer, sous l'influence du frottement déterminé par la réaction de l'effort qui agit suivant la bielle. On remarque que cette réaction appuyant le coulisseau sur la glissière de tribord, le pas de l'hélice doit être à gauche; c'est ce qu'indique d'ailleurs la flèche qui marque le sens du mouvement de rotation de l'arbre sur la coupe *vue* 1°, cette coupe étant faite par l'axe de la paire de cylindres arrière. — Le coulisseau est en deux parties; les patins sont rapportés et le coulisseau est fixé sur ces patins au moyen de vis. Cette disposition a pour but de permettre de remédier à l'usure du patin, en interposant des cales d'épaisseur convenable entre ce dernier et le coulisseau. — Le pied de la grande bielle est à fourche et à palier; la tête de bielle est simple et également à palier.

Les tiroirs sont placés entre les cylindres dans des boîtes séparées. Les tiroirs des cylindres détendeurs sont à double orifice sans compensateur. Les tiroirs des cylindres admetteurs sont en coquille, et portent sur leur dos un organe de détente variable. Les tiroirs de distribution de la même paire de cylindres sont montés sur une tige commune, terminée à son extrémité supérieure par un piston suceur 4, *vue* 4°, destiné à supporter le poids des tiroirs. Ce piston est logé dans un petit cylindre qui fait corps avec le couvercle de la boîte à tiroir du cylindre admetteur, et qui communique librement avec cette boîte par sa partie inférieure. La partie supérieure de ce cylindre est en communication avec le condenseur, au moyen d'un tuyau dont on aperçoit le débouché près du couvercle. — Les boîtes à tiroir des cylindres admetteurs sont reliées par deux tirants longitudinaux placés sur les côtés. Les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs sont reliées par deux pièces rectangulaires en fonte 22, *vue* 2°, boulonnées sur les prolongements tribord et bâbord des collerettes. Ces moyens de consolidation ne gênent pas le démontage des portes des boîtes à tiroir.

Les tiroirs de distribution sont conduits par des secteurs dont les bielles de suspension sont articulées aux extrémités d'un té fixé sur la tige de piston d'un petit cylindre à vapeur horizontal *m'*, placé sur le condenseur. Le changement de suspension peut s'effectuer : à la main en agissant sur le volant *m*, *vues* 1° *et* 2°, dont la tige se taraude dans un écrou porté par l'extrémité de la tige du piston de la machine de manœuvre; ou bien à la vapeur, par l'intermédiaire de cette machine même. Le mode de fonctionnement de cette mise en train à vapeur est expliqué en détail au n° 34_4. — Les tiroirs de détente sont placés sur le dos des tiroirs des cylindres admetteurs, et distribuent la vapeur par leurs arêtes intérieures, dans des orifices pratiqués dans les tiroirs de ces cylindres. Chaque tiroir de détente est conduit par un excentrique à calage fixe sans déclanche. La bielle de cet excentrique actionne la tige du tiroir de détente par l'intermédiaire d'un levier, qui passe dans un coussinet à rotule porté par l'extrémité de cette tige. Le centre d'oscillation de ce levier est porté par un chariot

mobile placé entre les deux cylindres détendeurs, au-dessous des boîtes à tiroir de ces cylindres. Le même chariot porte le centre d'oscillation des leviers intermédiaires des deux organes de détente. Le déplacement de ce chariot s'effectue de tribord à bâbord et *vice versâ*, au moyen d'une vis de rappel et d'un volant. La course de l'organe de détente varie avec la position du chariot, et il en est de même du degré d'introduction. Lorsque le chariot est porté sur tribord, le pied de bielle d'excentrique se rapproche de la tige de détente ; la course de ce dernier organe augmente et le degré d'introduction diminue. Le contraire a lieu lorsque le chariot est porté sur bâbord. — L'introduction fixe à la suspension extrême des secteurs est de 0,70 pour tous les cylindres ; mais l'organe de détente ne permet qu'une introduction maximum moyenne de 0,67 dans le cylindre admetteur.

La vapeur arrive des chaudières par le tuyau V, *vue* 1°, traverse un papillon placé dans ce tuyau et manœuvré par un régulateur *Sylver* à ailettes, dont le fonctionnement est expliqué au n° 35$_4$. La vapeur passe ensuite dans la boîte d'un registre *v*, *vue* 1°, formé de deux soupapes représentées en coupe *fig.* 17, et dont le mode de fonctionnement est expliqué au n° 34$_8$. La manœuvre de ce registre s'effectue au moyen d'un mécanisme 20, *vue* 1°, comprenant un petit volant dont l'arbre, terminé par une vis sans fin, actionne un secteur denté sur l'axe duquel est monté un levier qui agit sur la tige du registre par l'intermédiaire d'une bielle. — Après avoir franchi le registre, la vapeur passe dans deux tuyaux horizontaux qui aboutissent, l'un à la boîte à tiroir du cylindre admetteur avant, et l'autre à la boîte à tiroir du cylindre admetteur arrière. Cette vapeur est distribuée dans les cylindres admetteurs par les organes de détente D', *vue* 4°, et les tiroirs D de ces cylindres. — A l'évacuation de chacun des cylindres admetteurs, la vapeur passe par le conduit E_1, et de là, dans le tuyau V', *vue* 1°, qui l'amène dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur correspondant, d'où elle est distribuée dans ce cylindre. A l'évacuation du cylindre détendeur, la vapeur passe par le conduit E, et de là, dans le tuyau E' qui l'amène au condenseur. — Pour faciliter la manœuvre de la machine, les deux cylindres détendeurs sont munis de petits tiroirs supplémentaires *v'*, *vue* 2°, qui permettent d'introduire directement la vapeur dans les orifices de ces cylindres, et de là, au condenseur pour purger ce récipient et chasser l'air qu'il peut contenir.

Un seul condenseur tubulaire reçoit la vapeur d'évacuation des deux cylindres détendeurs. Les tubes sont horizontaux et en deux faisceaux superposés que la vapeur contourne, et que l'eau de circulation traverse. Ces tubes ont leur axe perpendiculaire au plan longitudinal du bâtiment ; ils sont fixés sur les plaques de tête au moyen de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires, taraudés sur les plaques, compriment une rondelle en caoutchouc (n° 48$_8$). — La partie inférieure de la chambre à vapeur du condenseur forme deux plans inclinés, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, et constitue ainsi deux conduits qui aboutissent chacun à une pompe à air. Le condenseur est muni d'un robinet d'injection directe I, *vue* 2°, destiné à fonctionner dans le cas où il faudrait marcher avec la condensation par mélange, à la suite d'une avarie grave des tubes.

Le condenseur est desservi par deux pompes à air aspirantes élévatoires, placées l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière de cet organe, et munies d'un reniflard *r*, *vue* 1°, qui communique avec le bas de la pompe. Le piston de chacune de ces pompes est conduit par un double balancier en tôle dont les points d'appui sont sur le bâti de bâbord, et qui lui transmet le mouvement de la grande traverse par l'intermédiaire de deux paires de menottes qu'il porte à ses extrémités. Deux de ces menottes sont articulées sur les tourillons de la grande bielle, et les deux autres sur une traverse qui surmonte la tige de piston de la pompe à air. Cette traverse porte d'ailleurs deux coulisseaux, qui se meuvent dans des guides en fonte rapportés sur le couvercle de la pompe; elle conduit en outre directement le piston plongeur d'une pompe de cale et celui d'une pompe alimentaire. La course des pistons de pompe à air est égale aux 0,4 de la course des pistons à vapeur. — Tous les clapets sont en caoutchouc. Les clapets de pied et les clapets de tête sont placés sur des siéges circulaires en bronze; celui des clapets de pied est boulonné sur une nervure qui fait saillie dans l'intérieur du bas de la pompe à air; le siége du clapet de tête repose seulement sur un épaulement du corps de pompe, et y est maintenu par la pression de quatre vis taraudées dans des taquets fixés eux-mêmes à la partie supérieure de ce corps de pompe, qu'ils traversent, et qui sont serrés extérieurement par un écrou. Cette dernière disposition a pour but de rendre facile le démontage du siége des clapets de tête, pour atteindre le piston de pompe à air, soit pour changer les clapets, soit pour refaire la garniture de ce piston. — Une porte est ménagée dans la partie inférieure de chaque pompe à air, pour visiter et changer au besoin les clapets de pied. Il existe une porte de regard 9, *vue* 1°, un peu au-dessus de la chemise de la pompe, et qui permet de s'assurer de l'état des clapets du piston et de sa garniture; mais cette porte n'est pas assez grande pour permettre de pénétrer dans le cylindre.

Les bâches sont formées par les bâtis de bâbord; elles ont la même capacité que si la condensation devait s'opérer par mélange; elles sont munies d'un réservoir d'air constitué par la nervure oblique qu'on aperçoit en *vue* 1°, et d'un tuyau de décharge D_e débouchant à la mer, portant un obturateur et un clapet de retenue. — Les deux bâches sont en communication à la partie inférieure par l'intermédiaire d'un tuyau K, *vue* 1°, muni d'un robinet obturateur. — Un tube-jauge est monté sur chaque bâche et sert à indiquer le niveau de l'eau dans ces récipients. — La porte de visite 11, *vue* 1°, permet de pénétrer dans la bâche pour la nettoyer ou pour visiter et changer, au besoin, les clapets de tête de la pompe à air.

L'eau de circulation est refoulée dans le condenseur par deux pompes centrifuges P_f, *vues* 1° *et* 2°, mues par une petite machine à pilon *b'*. Ces pompes sont placées l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière du condenseur, un peu en abord. Elles ont une prise d'eau spéciale à la mer et une autre à la cale; la prise d'eau à la mer est munie d'une soupape Kingston. — Les tuyaux de refoulement aboutissent aux deux extrémités avant et arrière de la même coquille inférieure N d'en abord, *vue* 3°. — L'eau de circulation traverse le faisceau inférieur des tubes de bâbord à tribord,

puis le faisceau supérieur de tribord à bâbord et s'écoule à la mer par un tuyau de décharge unique D, qui débouche au-dessous de la flottaison. — La machine motrice b' des pompes de circulation évacue au condenseur par le tuyau 24 et le robinet 24', vue 2°.

Les pompes alimentaires et les pompes de cale, au nombre de deux par espèce, sont placées sur l'avant et sur l'arrière des pompes à air, les pompes de cale aux extrémités de la machine et les pompes alimentaires à côté du condenseur. Ces dernières puisent l'eau dans la partie inférieure des bâches par l'intermédiaire de tuyaux munis de robinets 15, qu'on aperçoit en *vue* 1°, au fond de la bâche. Le clapet de trop-plein est formé de deux soupapes, de diamètres peu différents, sur lesquelles l'eau refoulée agit en sens contraire, dans le genre de la soupape de prise de vapeur. Ce clapet est chargé par un contre-poids et un ressort à boudin, dont l'action doit faire seulement équilibre à la différence des pressions totales exercées par l'eau sur les deux soupapes. Cette disposition du clapet de trop-plein est très avantageuse avec l'emploi des pressions élevées, pour diminuer la charge matérielle de ce clapet. — La levée du clapet d'aspiration de chaque pompe alimentaire peut être réglée à volonté au moyen de la vis à poignée 18', *vues* 1° *et* 2°, et mise en rapport avec la vitesse de rotation de l'appareil moteur. — Tous les clapets sont garnis de rondelles de gaïac, ce qui fait disparaître le bruit des clapets métalliques retombant sur leurs siéges. Un robinet i_1, *vue* 1°, fixé sur la bâche de l'arrière, met en communication cette bâche avec la partie supérieure de la chambre à eau du condenseur, et permet d'introduire une certaine quantité d'eau salée dans cette bâche pour réparer les pertes d'eau d'alimentation.

La vapeur est fournie par six chaudières tubulaires à retour de flamme, cylindriques à bases parallèles, ayant deux fourneaux également cylindriques sur chacune de leurs faces. Ces chaudières sont semblables à celles qui sont représentées *fig.* 8, *pl.* VIII; elles forment deux groupes séparés, ayant chacun une cheminée, et placés dans le sens longitudinal du bâtiment. La chaudière milieu de chaque groupe est surmontée d'un réservoir cylindrique noyé en grande partie dans les conduits de fumée, et qui reçoit la vapeur des trois chaudières du même groupe. Ce réservoir forme, dans une certaine mesure, une espèce de sécheur. — Entre les fourneaux adossés de la même chaudière se trouve une lame d'eau à faces planes consolidées par de nombreux tirants. — Les tubes sont en fer, et dans le but de consolider les plaques de tête, chaque boîte à feu contient, outre plusieurs tirants ordinaires, six tubes formant tirant. — L'appareil évaporatoire complet forme, dans le bâtiment, quatre chaufferies transversales séparées et parfaitement aérées.

Les machines du type que nous venons de décrire ont donné de très bons résultats; elles sont d'une construction simple et d'une surveillance facile. La consommation de charbon par cheval indiqué, mesurée en service courant, n'a pas dépassé 1^{kg},100.

(Voir, pour les dimensions et la régulation de cet appareil, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 27_4 Machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant. — Ces machines, montées sur un grand nombre de paquebots, et notamment sur l'*Aréthuse* des *Messageries maritimes*, sont représentées en *sect.* 2, *pl.* II. La légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous les organes. — L'appareil se compose de deux paires de cylindres bout à bout, à pilon. La vapeur agit d'abord dans un petit cylindre placé à la partie supérieure, puis elle se détend en passant dans un cylindre beaucoup plus grand placé en dessous. Le petit cylindre et le fond du grand ne forment qu'une seule pièce de fonte. — Les deux pistons sont sur une tige commune qui forme contre-tige au-dessus du petit cylindre; cette tige est pourvue d'un manchon en fonte qui fait entretoise entre les deux pistons; ce manchon est embrassé par les garnitures métalliques d'un presse-étoupe porté par le fond commun aux deux cylindres. La tige est conique à son emmanchement sur le grand piston et porte, au-dessus du petit piston, un écrou qui maintient les deux pistons à la fois. — La plaque de fondation porte quatre paliers du même jet de fonte qu'elle. A chaque angle de cette plaque existe une cavité rectangulaire dont les parois se prolongent au-dessus de sa face supérieure ; ces cavités forment quatre parallélipipèdes rectangles creux qui servent de réservoirs inférieurs aux condenseurs. Chacun d'eux est surmonté d'une caisse semblable qui contient les tubes. — Les cylindres de détente portent deux appendices creux communiquant avec leurs conduits d'évacuation, et par l'intermédiaire desquels ils reposent sur les condenseurs. Ces cylindres sont en porte-à-faux sur les condenseurs, mais ils sont solidement boulonnés entre eux. Sect. 2, Pl. II.

Les tubes des condenseurs sont verticaux; ils sont maintenus étanches au moyen de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires sont tarandés dans les plaques de tête (n° 48_8). Les deux boîtes à tube tribord et bâbord qui supportent le même cylindre ne forment qu'un seul condenseur, en deux compartiments séparés qui communiquent seulement par le conduit d'évacuation. La vapeur se partage entre les deux faisceaux tubulaires qu'elle traverse en passant dans les tubes, et vient tomber à l'état liquide dans deux réservoirs distincts. — La grande hauteur de ces réservoirs s'explique par la nécessité d'avoir l'espace suffisant pour démonter les tubes, que l'on peut faire sortir lorsque les portes 13 et 18 (*fig.* 2 *et* 3) sont ouvertes. L'eau de circulation est refoulée dans les deux compartiments du même condenseur par une seule pompe centrifuge mise en mouvement par une petite machine auxiliaire. Cette eau arrive dans le bas des boîtes à tubes et est expulsée dans deux tuyaux de décharge distincts. — Il y a deux pompes à air par machine; chacune d'elles dessert un compartiment du condenseur correspondant. Ces pompes sont aspirantes élévatoires; elles sont conduites par deux tiges particulières des grands pistons. Les corps de pompe sont élevés au-dessus de la plaque de fondation et fixés sur la partie supérieure du réservoir à eau douce; ils sont d'ailleurs reliés au couvercle du cylindre par les glissières. — Les bâches sont formées par un

espace annulaire qui existe autour des corps de pompe; celles de la même machine communiquent par un tuyau en bronze sur lequel se trouvent deux soupapes : une soupape de purge que l'on ouvre lors de la mise en marche pour laisser sortir l'air extrait du condenseur et une soupape de trop-plein. — Il n'y a pas de pompe alimentaire ; ce sont les pompes à air qui refoulent l'eau aux chaudières, par la pression qu'elles maintiennent dans un réservoir cylindrique où elles envoient l'eau extraite des condenseurs, et du bas duquel partent les tuyaux d'alimentation. Des robinets d'échappement d'air sont placés au-dessus de ce réservoir et au-dessus des bâches de pompe à air; on règle à la main l'ouverture de ces robinets, pour que l'air ne s'accumule pas dans le réservoir d'alimentation.

Les cylindres sont munis d'enveloppes qui, ainsi que les cavités des fonds et des couvercles, reçoivent directement la vapeur de la chaudière. La position élevée des cylindres permet à l'eau provenant de la condensation de retourner dans les générateurs par la seule différence des niveaux. — Les cavités du grand piston sont aussi pleines de vapeur provenant des enveloppes; la communication est établie au moyen de l'appareil L *vue* 1°, représenté en *fig.* 4, *pl.* VI et décrit au n° 33₂. — L'arbre moteur est en deux parties ayant exactement les mêmes dimensions, et reliées par des tourteaux boulonnés et venus de forge avec les bouts d'arbres. — Les bielles sont en deux pièces de fer qui ressemblent à des bielles d'excentrique; ces deux pièces sont réunies, du côté du pied de bielle, par un tourillon oscillant dans un palier qui termine la tige du piston, et qui porte les deux coulisseaux de glissière. Les deux parties de la tête de bielle embrassent un coussinet rond qui entoure le bouton de manivelle.

Les tiroirs sont en coquille et montés, comme les pistons, sur une tige commune. Les boîtes sont séparées par une cloison qu'une douille portée par la tige commune traverse à frottement doux. Les tiroirs des cylindres détendeurs sont à double orifice; la boîte à tiroir a deux compartiments séparés, de sorte que la boîte à tiroir proprement dite est entourée par la vapeur qui arrive des chaudières, et passe dans le compartiment extérieur pour aboutir à la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Cette disposition a pour but de réchauffer la vapeur qui évacue le petit cylindre pour passer dans le cylindre de détente. — Les tiroirs sont conduits directement par des secteurs. Le changement de suspension s'opère au moyen d'un arbre commun de relevage, portant une grande roue conique actionnée par un pignon; sur l'axe de ce pignon est montée une poulie à empreintes, munie d'une chaîne que met en mouvement une autre poulie à empreintes, mais plus petite, et dont l'axe porte le volant de manœuvre. Le premier arbre est un peu au-dessous des cylindres; le volant de manœuvre est à la hauteur de la plaque de fondation. — L'introduction a lieu pour les deux cylindres, pendant les 0,8 de la course de leurs pistons, ce qui procure une introduction effective de 0,16. — Il n'existe pas d'organe de détente variable. — Pour la mise en marche, de petits registres qu'on manœuvre à la main permettent d'envoyer directement la vapeur dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs.

(Voir, pour les dimensions de cet appareil, les tableaux C et C *suite*.)

Ce type a donné de bons résultats sur l'*Aréthuse*, mais il n'en a généralement pas été de même pour les autres bâtiments. Le presse-étoupe de tige de piston placé sur le fond commun aux deux cylindres, laisse passer la vapeur au bout de peu de temps de fonctionnement, surtout pendant la période d'évacuation correspondante du cylindre détendeur. Comme il n'existe aucun moyen de serrage, les fuites qui se produisent sur ce point deviennent de plus en plus considérables, et ne tardent pas à diminuer d'une manière sensible le rendement de l'appareil moteur. Pour remédier à cet inconvénient, *M. Humphrys* construit ses nouvelles machines dans le type qui nous occupe, avec un fond particulier pour chaque cylindre, et en espaçant ces fonds d'une quantité suffisante pour permettre de placer un presse-étoupe sur chacun d'eux. — Le fond du cylindre détendeur est surmonté d'un cylindre creux avec collerette, sur lequel se boulonne le cylindre admetteur; des ouvertures ménagées sur le pourtour de cette espèce de douille permettent de visiter les presse-étoupe.

MM. Humphrys et *Tennant* ont aussi construit des machines présentant les mêmes dispositions que celle dont il vient d'être question, mais dans lesquelles les grands pistons sont à fourreau du côté de l'arbre; on les rencontre sur les *stroopships* de 800 chevaux nominaux *Crocodille* et *Sérapis*.

N° 27$_8$ Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Scott. — Les machines de ce type n'ont que deux cylindres superposés. — Le grand cylindre est établi sur des montants, comme dans toutes les machines à pilon, et le petit cylindre est logé entre ces montants, à la partie inférieure. Une tige de piston commune porte une traverse qui se meut entre les deux cylindres, et qui reçoit à son extrémité deux bielles agissant sur un coude unique de l'arbre. La longueur du coude est par suite plus grande que le diamètre extérieur du cylindre admetteur. — Les tiroirs sont en abord; ils sont conduits par une coulisse unique, horizontale, au moyen de leviers de commande convenablement disposés. — Le condenseur, à tubes horizontaux, est placé du bord opposé aux tiroirs. La pompe de circulation a son axe dans le plan transversal qui passe par l'axe des cylindres et en abord du condenseur; à côté, et dans le même plan longitudinal, se trouvent deux pompes à air et deux pompes alimentaires. Toutes ces pompes ont leurs tiges montées sur une traverse commune, suspendue à deux balanciers conduits par la traverse des pistons moteurs. — Une machine auxiliaire, qui sert principalement à faire mouvoir des pompes de cale, donne un mouvement alternatif à un rochet qui agit sur une roue dentée montée sur l'arbre de l'hélice; on emploie cette machine lors de la mise en marche, pour faire franchir les points morts de l'appareil moteur.

On peut reprocher au type qui nous occupe sa grande hauteur, la longueur exagérée du coude de l'arbre, la nécessité d'avoir une machine spéciale pour mettre en marche lorsque la manivelle est au point mort, et surtout l'irrégularité de mouvement résultant d'une seule manivelle. — On rencontre néanmoins ce type sur quelques steamers de faible puissance, tels que l'*Achilles*, de 160 chevaux nominaux, fonctionnant à 40

tours, avec une pression initiale de 5 atmosphères dans le petit cylindre, et une introduction effective d'environ 0,16.

N° 27_6 Machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Gilbert et Cooper. — Les machines de ce type se rencontrent sur les bâtiments de commerce *Paradox* et *Aberdeenshire*; leur puissance nominale est de 50 chevaux. La disposition des cylindres est représentée par la *fig.* 4, *pl.* V. — Le cylindre admetteur est placé immédiatement au-dessus du cylindre détendeur avec fond commun. Les deux pistons n'ont qu'une seule tige qui traverse un presse-étoupe situé sur la cloison qui sépare les deux cylindres. Un orifice pratiqué à la partie inférieure, sur le côté du cylindre admetteur, et masqué par une porte dans les circonstances ordinaires, permet de refaire la garniture du presse-étoupe qui se trouve sur la cloison de séparation des deux cylindres, sans être obligé de démonter les deux couvercles et le piston du cylindre admetteur. — La distribution de la vapeur dans les deux cylindres de chaque machine se fait au moyen d'un seul tiroir; les conduits sont disposés de telle sorte que la vapeur qui évacue le haut du cylindre admetteur est introduite par la disposition particulière du tiroir, en dessous du piston du cylindre détendeur, et *vice versâ*. De ce dernier cylindre, la vapeur se rend dans un condenseur à surface à tubes horizontaux. Les tiroirs sont placés au milieu de la machine et manœuvrés au moyen de secteurs. Il n'y a qu'un condenseur à surface pour tout l'appareil. La traverse de chaque paire de pistons à vapeur donne le mouvement à un balancier, horizontal dans la position moyenne d'oscillation. L'un de ces balanciers conduit la pompe à air et l'autre la pompe de circulation. Deux petites pompes, servant l'une à l'extraction de l'eau de la cale et l'autre à l'alimentation, reçoivent aussi le mouvement de chacun de ces deux balanciers.

Fig. 4, Pl. V.

Le volume du cylindre détendeur est quatre fois celui du cylindre admetteur. — Les chaudières sont cylindriques, tubulaires à retour de flamme, avec tuyau d'alimentation traversant le coffre à vapeur.

N° 27_7 Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Perkins et fils. — Ce type est un des plus curieux spécimens des machines Compound. On le rencontre sur le *Filga*, remorqueur de la Tamise. La disposition des cylindres est représentée en *fig.* 5, *pl.* V. — L'appareil comporte quatre cylindres superposés deux à deux, entourés d'une chemise de vapeur, et à simple effet. Les pistons des deux cylindres superposés sont formés d'un seul bloc. La vapeur est introduite en dessous du piston admetteur et agit sur ce piston pendant la course descendante; elle passe ensuite au-dessous du piston inférieur et son action sur ce piston détermine la course ascendante. La vapeur des machines est ensuite condensée sous la pression atmosphérique, dans un condenseur à surface cylindrique de construction spéciale, ce qui permet de renvoyer l'eau à la chaudière à 100° centigrades. L'eau de circulation passe à l'intérieur des tubes. Les manivelles de l'arbre moteur

Fig. 5, Pl. V.

sont à angle droit, et la mise en train est un secteur Stephenson. Le coulisseau du secteur donne le mouvement au tiroir unique des deux cylindres de la même machine, au moyen d'un levier coudé et d'une bielle articulée sur la tige du tiroir. La pression à la chaudière est très-élevée et atteint parfois 20 atmosphères. Le volume de chaque cylindre détendeur est quatre fois plus grand que celui du cylindre admetteur correspondant. En général, la vapeur n'est introduite aux cylindres admetteurs que jusqu'à mi-course, de sorte que le degré de détente effective est égale à 8.

N° 27_8 Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Allibon et Noyes. — Le type dont il s'agit se rencontre sur le steamer *Kerkstall*; il est représenté en *fig*. 6, *pl*. V. Chaque cylindre détendeur est surmonté, avec fond commun fermé, du cylindre admetteur correspondant. Le piston du cylindre détendeur est muni de deux tiges qui se fixent sur une grande traverse évidée, à laquelle les bâtis servent de glissière et qui porte le tourillon d'une bielle ordinaire à palier. L'arbre a deux coudes placés à angle droit. — Les tiges de piston du cylindre détendeur se prolongent en dessus, en longeant le cylindre admetteur, et viennent se fixer sur la traverse portée par la tige unique du piston de ce dernier cylindre. — Les tiroirs des cylindres admetteurs sont conduits par des secteurs placés à l'avant et à l'arrière de la machine, et par l'intermédiaire de bielles articulées sur les manivelles d'arbres de transmission. Ces tiroirs sont les seuls qui servent à la manœuvre. Les tiroirs des cylindres détendeurs, sans recouvrements, sont conduits chacun par un seul excentrique à calage fixe, placé au milieu de l'arbre moteur entre les grandes manivelles. Les quatre tiroirs sont placés en dedans des cylindres. — Il n'existe qu'un seul condenseur à surface pour tout l'appareil. La pompe à air et la pompe de circulation sont verticales, et conduites chacune par un balancier à double flasque, qui reçoit son mouvement du piston à vapeur. Deux petites pompes, l'une pour l'alimentation et l'autre pour la cale, verticales et à piston plongeur, sont fixées sur le té des grandes pompes, un peu sur l'avant et sur l'arrière des axes des cylindres. Fig. 6, Pl. V.

Puissance nominale.	70^{ch}
Puissance indiquée.	376^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple. . . . . environ	0,10
Pression absolue à la chaudière.	$7^{at},00$
Surface de chauffe par cheval indiqué.	$0^{m.c},118$

N° 27_9 Machine Woolf, à pilon à bielle en retour à une paire de cylindres superposés points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type anglais. — Ce type de machine, qui est représenté en *fig*. 3, *pl*. V, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, est caractérisé par la position des deux cylindres placés verticalement l'un Fig. 3, Pl. V.

au-dessus de l'autre, dans le même axe, mais séparés par la glissière et la grande traverse qui est commune aux deux tiges de piston.

Le cylindre détendeur C est supporté par trois bâtis reposant sur une plaque de fondation et placés, deux à tribord et un seul à bâbord. Ce dernier est en deux parties superposées : la partie inférieure forme le corps du condenseur, et la partie supérieure la bâche à eau douce. Les bâtis de tribord placés, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière, comprennent entre eux la boîte à tiroir du cylindre admetteur, ainsi que la tige commune aux tiroirs des deux cylindres et une partie de ses renvois de mouvement. Le cylindre admetteur C_1 est placé entre le condenseur et les bâtis de tribord, un peu au-dessus de l'arbre. Ce dernier est supporté par trois paliers de la plaque de fondation, et porte deux manivelles dont les axes sont dans le même plan et qui sont placées, l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière en dehors des bâtis. Une traverse unique reçoit les deux tiges de piston et porte un double système de coulisseaux se mouvant dans quatre glissières, deux à deux opposées et rapportées sur les bâtis, entre les deux cylindres. Cette traverse est munie de deux tourillons parallèles à l'arbre de couche, qui débordent les bâtis pour venir à l'aplomb des manivelles. Une bielle relie chacun de ces tourillons à la manivelle correspondante. Il résulte de cette disposition que les bielles sont en retour par rapport au cylindre admetteur. Ajoutons que les bielles, qui sont d'ailleurs simples aux deux extrémités, ont leurs articulations à chappe et que le serrage se fait à juste portée sur les coussinets. Les coulisseaux de tribord, sur lesquels s'exerce la réaction des pieds de bielle lors de la marche avant, sont rectifiables au moyen d'un coin mû par une vis longitudinale, et fixé ensuite à demeure par deux vis transversales formant frein.

La vapeur arrive de la chaudière par le tuyau V, franchit le registre *v* et aboutit à la boîte à tiroir du cylindre admetteur par le conduit V_1. A l'évacuation du cylindre admetteur, la vapeur passe dans le conduit V' qui l'amène à la boîte à tiroir du cylindre détendeur. — Les tiges de tiroir des deux cylindres sont montées sur une traverse unique, et les tiroirs ont par suite leurs mouvements communs. En raison de la différence des diamètres des deux cylindres, les tables frottantes sont inclinées pour se trouver dans le même plan. — Les tiroirs sont en coquille pour les deux cylindres ; ils sont conduits par un secteur unique placé sur l'avant et qui leur transmet le mouvement par l'intermédiaire du mécanisme *q'*, dont voici le détail.

Deux tringles horizontales d'un parallélogramme simple (n° 53, du *G^d Traité*) oscillent, celle du haut autour de l'axe du palier *h*, celle du bas autour d'une articulation fixée au condenseur. La tringle verticale porte en son milieu un fort renflement, dans lequel est logé un coussinet dont les faces débordent l'épaisseur de cette tringle ; sur ces faces sont pratiquées de fortes entailles dans lesquelles s'engagent les deux arcs dont l'ensemble constitue le secteur. Les bielles d'excentrique sont à fourche et embrassent ce secteur ; par ailleurs, la fourche de la bielle de bâbord est assez allongée pour laisser le passage libre à la tringle inférieure du parallélogramme. La tringle supérieure de ce parallélogramme est montée sur

un arbre *a*, parallèle à l'arbre de couche, et supporté par des paliers *h* fixés aux bâtis de tribord. Sur le milieu de la longueur de cet arbre, entre les deux bâtis, est monté un levier à fourche dont les branches sont fendues horizontalement, pour recevoir les coussinets de deux tourillons de la traverse commune aux deux tiges de tiroir.

Bien que les tiroirs aient leurs mouvements communs, la régulation n'est pas rigoureusement la même pour les deux, parce que les bielles motrices sont directes pour le cylindre admetteur et en retour pour le cylindre détendeur. Mais les différences qui résultent de cet état de chose sont peu importantes, eu égard à la longueur des grandes bielles qui atteint 6 fois 1/2 celle des manivelles. De leur côté, les bielles d'excentrique peuvent être considérées comme infinies, car leur longueur atteint 300 fois celle des rayons d'excentricité. Ces derniers étant très-courts, la course des tiroirs est amplifiée par la transmission de mouvement.

Le mécanisme de changement de suspension du secteur se compose du système de tringles et leviers *m*, dont la tringle horizontale supérieure est à fourche, et embrasse le secteur pour venir s'articuler au point d'attache de la bielle de la marche arrière. La tringle inclinée est terminée à sa partie inférieure par une crémaillère avec laquelle engrène un pignon monté sur l'arbre du volant de manœuvre. Par ailleurs, cette tringle porte une rainure dans laquelle s'engage un coulisseau dont les joues sont fixées à deux colliers qui embrassent l'arbre du volant. Cette disposition a pour but de maintenir constamment en prise les dents du pignon et celles de la crémaillère. — Enfin, un tourteau, faisant corps avec le support du mécanisme et que traverse librement l'arbre du volant, porte une gorge circulaire formant queue d'aronde et dans laquelle s'engage la tête d'un boulon qui, d'autre part, traverse une manivelle faisant corps avec le moyeu du volant. Lorsque le mécanisme de changement de suspension des secteurs est à bloc, on serre le boulon précité au moyen d'un écrou muni de deux bras à poignées, et qui appuie sur la manivelle du volant. Ce dernier est ainsi lié au tourteau fixe, et la mise en train est rendue immobile par le frein que constitue le système dont nous venons de parler.

A l'évacuation du cylindre détendeur, la vapeur passe dans un condenseur tubulaire formé par la partie inférieure du bâti de bâbord. Les tubes sont horizontaux et parallèles à l'arbre; ils forment trois groupes que l'eau réfrigérante parcourt successivement et en sens contraire. La vapeur entoure les tubes. — La pompe à air, qui est aspirante élévatoire, reçoit son mouvement de la traverse commune aux deux pistons. Une paire de menottes relie cette traverse aux deux balanciers *b*; ces derniers, qui comprennent entre eux le bâti, oscillent autour d'un arbre porté par deux paliers *h'*, et leurs extrémités actionnent la traverse de la pompe à air par l'intermédiaire de deux bielles pendantes *b*. Cette traverse de pompe à air est guidée en ligne droite par les pistons plongeurs de la pompe alimentaire et de la pompe de cale, placées, la première sur l'avant de la pompe à air et la seconde sur l'arrière. Au surplus, la course du piston de la pompe à air n'est guère que le tiers de la course des pistons moteurs.

L'eau provenant de la condensation de la vapeur est emmagasinée dans

la bâche à eau douce B_6, d'où elle est prise par la pompe alimentaire pour être renvoyée aux chaudières. Cette bâche est munie d'un double tuyau de décharge accidentelle D_7; celui du bas aboutit à une caisse formant réservoir d'eau douce et porte un robinet obturateur; celui du haut débouche à la mer : il est muni d'un obturateur et d'une soupape de retenue. On ne se sert de ce dernier que dans le cas de fortes fuites aux joints des tubes du condenseur. — La pompe de circulation est du système centrifuge et possède un moteur spécial.

Au point de vue de la rotation, la machine qui nous occupe fonctionne comme une machine à un seul cylindre; elle ne peut donc partir quand les manivelles sont aux environs du point mort. On change alors à bras la position des manivelles, en agissant sur les dents de la grande roue R_1 du vireur, au moyen d'un levier dont le point d'appui se trouve sur un talon du bâti arrière. Ajoutons que, pour la mise en marche, on introduit directement la vapeur dans le cylindre détendeur et, de là, au condenseur pour purger ce récipient et y établir le vide. La pompe de circulation fonctionne même pendant les arrêts, ce qui facilite le départ de la machine. Par ailleurs, la grande roue R_1, qui a des proportions considérables, fait l'office d'un volant pour régulariser la rotation pendant la marche.

La machine que nous venons de décrire occupe très-peu de place dans le navire. La position donnée au cylindre admetteur a permis de réaliser des longueurs de bielle qu'on ne peut atteindre, et de beaucoup, avec les machines à cylindres bout à bout, même beaucoup plus élevées. Au surplus, le centre de gravité de l'appareil se trouve notablement plus bas, ce qui augmente considérablement la stabilité, et réduit dans de grandes proportions les efforts d'arrachement que les boulons de fixation ou de jonction ont à supporter par mauvais temps. Cette machine fonctionne à une introduction effective (n° 13_1) égale à 0,12 pour la marche à toute puissance, avec une pression absolue de 5^{at} aux chaudières; il n'existe pas d'organe spécial de détente variable, mais on peut diminuer l'introduction par un changement de suspension du secteur. — Avec un peu d'habitude, la manœuvre de cet appareil devient aussi facile que celle de tout autre genre de machine; le seul inconvénient qu'elle pourrait présenter consiste dans le voisinage du cylindre admetteur et du condenseur. Ajoutons toutefois que ces organes ne sont en contact que par leurs brides de fixation. — On rencontre une machine de ce type sur le petit paquebot le *Pascal*.

N° 28. — 1. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — 2. Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type d'Indret. — 3. Machines doubles Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à deux hélices), avec condensation par surface : type de Farcot. — 4. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à une ou deux hélices), avec condensation par surface : types de Claparède. — 5. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de Thornycroft. — 6. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à

côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Fawcet et Preston et de James Jack et Cie. — 7. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à une ou deux hélices), avec condensation par surface : types de Randolph et de J. Elder. — 8. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Napier, de Caird et de Oswal et Cie. — 9. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Maudslay, de Day, Summers et Cie, de Todd et Grégor, de Palmers et Cie et de Humphrey et Cie. — 10. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de William Allan et de Simons et Cie. — 11. Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 125° (à hélice) avec condensation par surface : types de Thomson et Boyd, du Grenock Foundry et de Georges Forester. — 12. Machines Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et à 125° (à hélice), avec condensation par surface ; types de La Ciotat et de Penn et fils. — 13. Machines Woolf, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et à 125° (à hélice), avec condensation par surface : types du Creusot et de John Elder et Cie. — 14. Machines Woolf multiples, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à 120° (à hélice), avec condensation par surface : types de John Elder et Cie et de Perkins et fils.

N° 28_1 Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type des Forges et chantiers de la Méditerranée. — Ce type est représenté en *sect.* 3, *pl.* II; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous ses organes. — L'appareil complet comporte deux cylindres de diamètres différents, mais dont les pistons ont même course ; le cylindre admetteur sur l'avant, le cylindre détendeur sur l'arrière. Ces cylindres sont supportés par un condenseur formant bâti et par quatre colonnes en fer forgé s'appuyant sur une plaque de fondation ; ils sont pourvus d'enveloppes de vapeur qui communiquent directement avec la chaudière. — Le cylindre admetteur est entouré par une deuxième enveloppe qui lui sert de conduit d'évacuation, et qui forme en même temps réservoir intermédiaire entre les deux cylindres ; c'est cette enveloppe qui constitue la boîte à tiroir du cylindre détendeur en se boulonnant sur la table de ce cylindre. Les tiroirs sont en coquille simple sans compensateur et sont munis d'une contre-tige ; ils sont conduits par des secteurs dont on change la suspension au moyen d'un arbre commun de relevage, portant un secteur denté actionné par une vis sans fin et un volant. — Sur le dos de la boîte à tiroir du cylindre admetteur se trouve un organe de détente à plaque percée, conduit par un excentrique à calage variable ; il n'existe aucun mécanisme de déclanchement, mais on suspend le fonctionnement de cet organe en mettant directement en communication, au moyen

Sect. 3. Pl. II.



d'une soupape à ce destinée, la boîte à détente avec la boîte à tiroir.

Chaque tige de piston porte un palier dont un des côtés forme patin dans une glissière fixée au condenseur; le pied de bielle est à fourche et porte son tourillon. Les deux coudes de l'arbre sont calés à 90 degrés. — Les tubes du condenseur sont horizontaux et en deux faisceaux; la vapeur les traverse et l'eau les contourne. — La pompe à air, aspirante élévatoire, est en abord du condenseur; son piston est conduit par un balancier que mène le tourillon de pied de bielle du cylindre admetteur. L'axe de ce balancier se prolonge sur l'arrière pour s'appuyer sur un troisième palier, et porte un levier qui conduit la pompe de circulation; cette pompe est en face du cylindre détendeur; elle est à double effet et agit par refoulement. — L'eau extraite du condenseur par la pompe à air est envoyée dans un réservoir placé en abord, et où viennent puiser les pompes alimentaires. Il existe une décharge accidentelle qui débouche au-dessus de la flottaison. — Les pompes alimentaires et les pompes de cale sont placées à côté de la pompe à air, et leurs pistons sont conduits par le balancier de cette pompe. La vapeur arrive de la chaudière par le tuyau V, *fig.* 4, qui est muni d'une soupape d'arrêt formant registre; elle passe dans l'organe de détente et, de là, dans la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Après avoir subi une première période de détente dans ce cylindre, la vapeur est évacuée dans le réservoir intermédiaire, d'où elle est distribuée dans le grand cylindre pour y travailler en se détendant. — Les coudes de l'arbre étant à 90 degrés, le piston du cylindre détendeur est à mi-course lorsque celui du cylindre admetteur est au point mort. L'introduction du grand cylindre cesse aux 0,70 de la course de son piston et ne s'ouvre, pour l'autre bout du cylindre, que lorsque le piston du cylindre admetteur est lui-même à mi-course. Il résulte de cet état de choses que, pendant une certaine fraction de la course du piston du cylindre admetteur, la vapeur est comprimée dans le réservoir intermédiaire, dont l'existence est nécessaire pour que cet effet de compression ne se fasse pas trop sentir au détriment de l'effet utile. — Dans la partie de l'enveloppe du cylindre détendeur qui est opposée au conduit d'évacuation de ce cylindre se trouve un petit tiroir que l'on manœuvre à la main, et qui permet d'introduire la vapeur de l'enveloppe dans les orifices du cylindre détendeur, soit pour échauffer ce cylindre et purger le condenseur, soit pour assurer le balancement et la mise en marche de la machine.

L'introduction fixe a lieu dans le cylindre admetteur pendant les 0,70 de la course de son piston, ce qui procure, eu égard au rapport des volumes des cylindres, une introduction effective de 0,23; cette introduction peut être réduite à 0,10 par l'organe de détente variable du cylindre admetteur.

On rencontre des machines de ce type sur quelques petits bâtiments de commerce, notamment sur le *Henri IV*, de 150 chevaux de 300^{km}, et sur 10 canonnières espagnoles.

(Voir, pour la régulation et les résultats d'expériences des machines du *Henri IV*, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 28_2 Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type d'Indret. — Ce type, que l'on rencontre sur le transport *la Vienne*, comprend deux cylindres pilon côte à côte placés dans l'axe du bâtiment, le cylindre admetteur sur l'avant et le cylindre détendeur sur l'arrière. Les pistons agissent sur un même arbre à deux coudes calés à 90 degrés. — Ces cylindres sont pourvus d'enveloppes qui reçoivent directement la vapeur des chaudières. Ils sont supportés par un condenseur placé à tribord, et par quatre colonnes rectangulaires creuses en fonte, placées à bâbord. Le tout repose sur une plaque de fondation qui porte quatre paliers pour l'arbre de couche. Les traverses de piston sont venues de forge avec les tiges, et chacune d'elles porte un palier dans lequel oscille un tourillon fixé sur les fourches de la grande bielle. — Ces traverses ont deux glissières qui se font face, dans le sens du travers. — Le tiroir du cylindre admetteur est placé sur l'avant; ce tiroir est en coquille simple, avec compensateur circulaire. — Le tiroir du cylindre détendeur est placé entre les deux cylindres; il est à double orifice sans compensateur. Les deux tiroirs sont munis de contre-tiges terminées par un petit piston logé dans un cylindre rapporté sur la boîte à tiroir; le dessus de ces petits pistons communique avec le condenseur, au moyen d'un tuyautage convenablement disposé; le dessous de ces pistons communique avec la boîte à tiroir. Cette disposition a pour but d'annuler l'action de la pesanteur sur les tiroirs et de faciliter le changement de suspension des secteurs, lors des renversements de marche. — La vapeur qui évacue le cylindre admetteur contourne ce cylindre pour aboutir à la boîte à tiroir du cylindre détendeur. Les deux tiroirs sont conduits par

des secteurs dont les bielles de suspension sont doubles, et viennent se fixer sur deux tourillons portés par un écrou qui est mobile sur un axe horizontal transversal ; à l'extrémité de cet axe se trouve le volant de mise en train. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable ; l'introduction fixe est de 0,70 pour le cylindre admetteur et de 0,65 pour le cylindre détendeur. Sur la boîte à tiroir du cylindre détendeur est placé un petit tiroir de manœuvre au moyen duquel on peut introduire la vapeur des enveloppes dans la boîte à tiroir de ce cylindre, pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche ; ce petit tiroir permet encore de faire passer la vapeur des enveloppes dans le conduit d'évacuation du cylindre détendeur, pour purger le condenseur. — Comme la quantité de vapeur débitée par les tuyaux de communication des enveloppes avec la chaudière n'était pas suffisante pour assurer une manœuvre prompte, le cylindre détendeur a été pourvu de deux communications directes avec le conduit principal de vapeur. Ces communications ont été établies au moyen de tuyaux venant déboucher sur le fond et le couvercle du cylindre, là où se trouvaient primitivement les soupapes de sûreté ; ces soupapes ont été rapportées sur les tuyaux eux-mêmes. — Chacune de ces communications est munie d'un robinet.

Le condenseur, placé à tribord, est tubulaire, avec trois faisceaux de tubes horizontaux que la vapeur contourne et que l'eau de circulation traverse. — Le joint des tubes sur la plaque de tête est fait au moyen de petits presse-étoupe à chapeau annulaire (n° 48_8). Une injection directe permet d'envoyer une certaine quantité d'eau froide dans la chambre à vapeur du condenseur, soit pour réparer les pertes, soit pour préparer le vide au moment de la mise en marche. — La bâche a une décharge accidentelle. — La pompe à air et la pompe de circulation sont horizontales et à double effet. La pompe à air est placée sur l'avant ; son piston est conduit directement par un cadre que met en mouvement un bouton excentré du bout de l'arbre ; le même cadre conduit la pompe alimentaire placée à l'opposé de la pompe à air. La pompe de circulation est sur l'arrière ; son piston est conduit par un excentrique à bielle renversée, agissant sur une glissière dont le coulisseau porte deux bras sur lesquels se fixent des prolonges qui embrassent l'arbre ; ces prolonges sont fixées, d'autre part, sur une traverse portée par la tige de la pompe de circulation. — La pompe de cale est placée entre les deux machines ; sa bielle

est articulée sur un bouton fixé au collier de l'excentrique arrière du cylindre détendeur.

L'appareil évaporatoire se compose de deux chaudières cylindriques à deux foyers tubulaires à retour de flamme ; elles sont surmontées d'un coffre à vapeur également cylindrique.

Puissance	nominale	150^{ch}
	indiquée	720^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindre admetteur	0,70
	cylindre détendeur	0,65
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,223
Pression absolue aux chaudières		4^{at},00
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	1$^{dm.c}$,20
	de chauffe	0$^{m.c}$,2922
	refroidissante	0$^{m.c}$,1813

N° 28$_3$ Machines doubles Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à deux hélices), avec condensation par surface : type de Farcot. — Les appareils de ce type comportent deux machines *Compound* menant deux hélices indépendantes. — Chacune de ces machines a un cylindre admetteur placé sur l'avant et un cylindre détendeur placé sur l'arrière. L'arbre de couche a deux coudes calés à 90 degrés ; cet arbre est supporté par trois paliers faisant corps avec la plaque de fondation. Cette plaque forme le réservoir inférieur d'un condenseur tubulaire placé en abord, et qui supporte les cylindres concurremment avec deux colonnes en fer forgé placées, l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière, aux angles de la plaque de fondation. — Le piston du cylindre admetteur est en fer forgé et porte des rainures circulaires pour recevoir les garnitures. Le piston du cylindre détendeur est fait de la même manière, mais il est en fonte de fer. — Les tiges de piston son terminées par des paliers qui embrassent les tourillons fixés aux pieds à fourche des grandes bielles ; ces paliers portent, du côté du condenseur, un patin formant coulisseau sur une glissière en fer forgé. — Les cylindres possèdent des enveloppes de vapeur ; ils sont reliés l'un à l'autre par la boîte à tiroir du cylindre détendeur. La boîte à tiroir du cylindre admetteur est placée sur l'avant. Les tiroirs sont en coquille ordinaire ; ils sont conduits par des secteurs qui ont un levier de manœuvre commun. Le registre est placé sur le dos de la boîte à tiroir du cylindre admetteur ; il est formé par un disque circulaire sur lequel sont découpés quatre secteurs, qui correspondent à autant d'orifices semblables d'une plaque

en bronze incrustée dans le dos de la boîte à tiroir. La vapeur vient de l'enveloppe du cylindre admetteur. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable. — Le cylindre admetteur a une deuxième enveloppe qui lui sert de conduit d'évacuation en même temps qu'elle constitue un réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. — Un robinet à deux voies placé sur une triple tubulure permet de mettre alternativement en communication chacun des orifices du cylindre détendeur avec l'enveloppe de vapeur de ce cylindre ; de cette façon, on peut échauffer le cylindre détendeur et faire partir la machine quelle que soit la position de la manivelle du cylindre admetteur.

Les tubes du condenseur sont en deux faisceaux ; la vapeur les contourne et l'eau de circulation les traverse. La pompe à air est horizontale, à simple effet et à piston plongeur formant fourreau ; elle est placée sur l'arrière du condenseur et son piston est conduit par un excentrique. La pompe de circulation, semblable à la pompe à air, est placée sur l'avant, et son piston est conduit par un bouton excentré de l'arbre moteur ; une disposition particulière du tuyautage permet de l'utiliser comme pompe de cale. — La pompe alimentaire et la pompe de cale, également placées sur l'avant, sont conduites par un bouton excentré sur celui de la pompe de circulation ; ces deux pompes sont à simple effet. — Les chaudières sont cylindriques, à foyers intérieurs également cylindriques, et tubulaires à retour de flamme ; les tubes sont en laiton.

On trouve des appareils de ce type sur les canonnières *Chacal*, *Jaguar*, *Léopard*, *Hyène*, où ils ont remplacé des machines à bielle directe du type des *forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 24_1).

Puissance	nominale	65^{ch}
	indiquée	260^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindre admetteur	0,45
	cylindre détendeur	0,55
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,14
Pression absolue aux chaudières		5^{at},00
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c}$,25
	de chauffe	$0^{m.c}$,3347
	refroidissante	$0^{m.c}$,2003

N° 28_4 Machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 90° (à une ou à deux hélices), avec condensation par surface : types de Claparède. — Le type à deux hélices de ce constructeur comporte deux machines indépendantes symétriquement placées par rapport

au plan longitudinal du bâtiment, et commandant chacune une hélice spéciale. — Chaque machine a deux cylindres fixes à pilon, inégaux, conjugués sur un même arbre moteur à deux coudes calés à 90 degrés. Les cylindres sont pourvus d'enveloppes mises directement en communication avec les chaudières. Le cylindre admetteur possède une deuxième enveloppe qui lui sert de conduit d'évacuation, en même temps qu'il sert de réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. En se boulonnant sur le cylindre détendeur, cette deuxième enveloppe forme une partie de la boîte à tiroir de ce dernier cylindre. — Les distributeurs sont des tiroirs en coquille; celui du cylindre admetteur est placé sur l'avant et celui du cylindre détendeur est entre les deux cylindres. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable. L'introduction fixe a lieu pour le cylindre admetteur pendant les 0,60 de la course du piston, et pour le cylindre détendeur pendant les 0,80 de cette course; il en résulte une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,125. Un robinet spécial permet d'introduire directement la vapeur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, pour assurer le balancement et la mise en marche de l'appareil.

Il existe un condenseur par machine, placé en abord, et qui sert de bâti aux cylindres. La vapeur entoure les tubes et l'eau froide les traverse en deux parcours de sens contraire. La pompe à air et la pompe de circulation sont à double effet. Un tuyautage spécial permet d'utiliser la pompe de circulation comme pompe de cale. En cas de voie d'eau, une partie de l'eau de la cale peut en outre être envoyée directement au condenseur et extraite de là par la pompe à air. — La bâche à eau douce possède une décharge accidentelle. Les pompes alimentaires et les pompes de cale sont placées à l'extrémité avant de l'arbre moteur.

L'appareil évaporatoire fonctionne à une pression absolue de 8 atmosphères; il est formé de deux corps cylindriques à un seul foyer avec tubes en laiton en retour. Chacune de ces chaudières est pourvue d'un coffre à vapeur également cylindrique et placé au-dessus. — L'alimentation est assurée, pendant les arrêts, par une pompe rotative à vapeur du système Behrens (n° 64$_4$) qui sert de petit cheval. Cette pompe possède un tuyautage complet et indépendant de celui des pompes alimentaires attenant à la machine.

On rencontre des machines de ce type sur les canonnières *Épée* et *Tromblon*, de 45^{ch} de 300^{km}.

Le type des appareils à une seule hélice ne comporte qu'une seule machine à deux cylindres Woolf, dont l'ensemble ne diffère pas sensiblement, comme disposition, d'une des machines de l'appareil double dont il vient d'être question. On le rencontre sur la frégate *la Résolue*, de 150^{ch} de 300^{km}.

L'introduction fixe a lieu pour le cylindre admetteur pendant les 0,60 de la course du piston, et pour le cylindre détendeur pendant les 0,70 de cette course. — L'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, est de 0,20. — La pompe de cale est placée sur l'arrière de la machine et son piston est conduit par un excentrique. — L'appareil évaporatoire fonctionne à une pression absolue de 4^{at}, et se compose de deux corps cylindriques ayant chacun deux foyers également cylindriques. Un coffre à vapeur cylindrique est établi sur chaque chaudière. — L'alimentation est assurée pendant les arrêts de la machine, au moyen d'une pompe à vapeur spéciale du système Claparède. Cette pompe est pourvue d'un tuyautage complet, indépendant de l'alimentation ordinaire.

N° 28, Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de Thornycroft. — Les machines construites par *Thornycroft* pour plusieurs bateaux porte-torpilles sont remarquables par leur légèreté et leur faible encombrement. Ce double résultat a été obtenu : en construisant en acier toutes les pièces de la transmission de mouvement; en évidant les cylindres, les boîtes à tiroir, les fonds et les couvercles parallèlement aux parois intérieures, et en ne laissant que l'épaisseur de métal strictement nécessaire; enfin par l'emploi d'une pression élevée, la chaudière étant extrêmement réduite et fonctionnant normalement avec un tirage forcé.

Ces appareils comportent deux cylindres Woolf à pilon, le cylindre admetteur sur l'avant. Ces cylindres sont montés sur huit colonnes en acier boulonnées sur une plaque de fondation ; ils sont d'ailleurs reliés à la partie basse de la coque par des tirants transversaux, pour éviter les oscillations au roulis. Comme construction, chacun de ces organes est formé d'un cylindre intérieur dans lequel se meut le piston, et autour duquel est ajusté, avec portage aux extrémités seulement pour former chemise de vapeur, un deuxième cylindre qui porte la table de frottement du tiroir. Le tout est relié par le boulonnage des fonds et des couvercles. Les glissières, à rebords, sont fixées, d'une part, sur les couvercles des cylindres, et, d'autre part, sur des traverses boulonnées aux colonnes qui forment bâtis. Chaque piston a deux bagues simples en bronze. La tige est terminée par un palier qui fait partie du coulisseau. Le pied de bielle est à fourche et porte lui-même le tourillon ; la tête de bielle est à palier.

L'arbre de couche a deux vilebrequins à 90 degrés, dont les manivelles sont équilibrées; il est en deux parties reliées par de petits tourteaux boulonnés à demeure. Cet arbre est supporté par quatre paliers faisant corps avec la plaque de fondation.

Les tiroirs, en coquille simple, sont placés entre les deux cylindres que leurs boîtes relient; ils sont conduits par des secteurs dont les excentriques sont placés au milieu de l'arbre, de chaque côté des tourteaux d'assemblage. La bielle d'excentrique de la marche avant est droite; celle de la marche arrière est dévoyée. Les tiges de tiroir sont guidées à la sortie des boîtes par des presse-étoupe très-allongés; ces tiges se prolongent au-dessus, et passent dans des guides en bronze surmontant les boîtes à tiroir. Comme il n'existe pas de soupapes de sûreté pour les cylindres, on a donné beaucoup de jeu à l'emmanchement des tiroirs sur leur tige, afin que ces tiroirs puissent se soulever en cas de projection d'eau. Les tiges de tiroir sont terminées par une fourche portant deux petits tourillons qui font saillie à l'intérieur. Chaque secteur est formé de deux lames parallèles, boulonnées à leurs extrémités sur des talons qui laissent entre ces lames une largeur égale à celle du pied de bielle, dont le tourillon est porté par le secteur. Un collier en bronze est capelé sur l'ensemble du secteur, et réunit les deux tourillons des fourches; ce collier sert d'intermédiaire entre le secteur et la tige de tiroir; un système de serrage à vis permet de régler le jeu à donner au secteur. Le changement de suspension des tiroirs s'effectue au moyen d'un petit arbre porté par deux des colonnes formant bâti, et sur lequel se trouvent des leviers actionnant les bielles de suspension des secteurs, et un troisième levier sur lequel on agit au moyen d'une vis et d'un volant. Pour la mise en marche, la vapeur est introduite directement dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, au moyen d'une petite soupape d'arrêt. Il n'existe pas d'organe de détente variable.

Un condenseur tubulaire, de forme cylindrique, est placé à bâbord; les tubes sont horizontaux et parallèles à l'arbre; la vapeur les contourne. La pompe à air, aspirante élévatoire, est placée à tribord, en face du cylindre admetteur; son piston est mû par la tige de piston de ce dernier cylindre, au moyen de deux petits balanciers et de menottes. L'axe d'oscillation des balanciers est porté par un bâti monté sur le couvercle de la pompe à air, et la course du piston de cette dernière n'est que le quart environ de celle du piston moteur. La bâche à eau douce est placée en travers, sur l'avant de la machine. — Il n'existe pas de pompe de circulation; l'eau froide est refoulée dans le condenseur par la vitesse même du navire; et pour faciliter son introduction, la prise d'eau est munie à l'extérieur d'une coquille tournée vers l'avant. Cette coquille peut être renversée si la marche en arrière se prolonge. Un giffard, qui peut être aussi employé à extraire l'eau de la cale, sert à déterminer la circulation au départ, et par suite à établir le vide pour faciliter la mise en marche. L'eau froide passe dans l'intérieur des tubes qu'elle parcourt en deux groupes.

Deux pompes alimentaires et une pompe de cale sont placées sur l'ar-

rière de la machine ; elles sont à piston plongeur et à simple effet. La pompe de cale est conduite directement par un excentrique. Les pompes alimentaires sont commandées par une roue à engrenage hélicoïdal, qui reçoit son mouvement du premier tronçon de la ligne d'arbres. Ces pompes ne donnent qu'un coup de piston pour $3^{t},75$ de la machine. L'alimentation est assurée, pendant les arrêts, au moyen d'un petit cheval qui aspire à la bâche, ou bien dans un réservoir d'eau douce situé à l'arrière, hors du compartiment de la machine.

La vapeur est fournie par une chaudière à flamme directe, dans le genre de celles qui sont employées sur les locomotives. Le corps de la chaudière est cylindrique en tôle d'acier; les tubes sont en bronze et bagués; la plaque de tête de la boîte à fumée est également en acier. Cette partie cylindrique est précédée du fourneau, demi-cylindrique à sa partie supérieure, avec raccordement sur les surfaces planes qui forment les côtés; toute cette partie est en cuivre rouge, ainsi que la plaque de tête correspondante. L'enveloppe extérieure est en tôle d'acier. Il n'y a pas de lame d'eau sous le cendrier. Les diverses parties sont consolidées par des tirants et des entretoises. — Afin d'assurer le tirage nécessaire pour obtenir une combustion bien active, on a eu recours à un ventilateur comprimant l'air dans la chambre de la machine et de la chaudière. Cette chambre forme un compartiment spécial limité par deux cloisons étanches, et qui ne communique avec l'atmosphère que par trois ouvertures : la prise d'air du ventilateur, le panneau par lequel on descend et le tuyau de la cheminée. Lorsque le panneau est fermé, le ventilateur refoule de l'air qui traverse la machine en l'aérant, arrive à la chaudière et se dégage par la cheminée après avoir alimenté la combustion. Suivant l'allure du ventilateur, l'air est plus ou moins comprimé et le tirage plus ou moins actif. Ce ventilateur est mû par un cylindre à vapeur spécial qui évacue au condenseur. Il existe une injection de vapeur dans la cheminée pour activer l'allumage.

On rencontre des machines de ce type sur tous les porte-torpilles construits par *Thornycroft*.

Puissance indiquée		200^{ch} de 75^{km}
Introduction maximum par les secteurs		0,76
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple	maximum	0,30
	minimum	0,18
Nombre de tours par minute		420
Vitesse du bâtiment en nœuds		$17^{nds},81$
Vide au condenseur		64^{cm}
Pression absolue aux chaudières		$9^{at},00$
Par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	Surface de grille	$0^{dm.c},52$
	Surface de chauffe	$0^{m.c},1372$
	Surface refroidissante . . . environ	$0^{m.c},2500$
	Charbon dépensé par heure	$2^{kg},00$
	Poids de l'appareil, machine, chaudière pleine, eau de réserve, eau de circulation et outillage	38^{kg}
Pression effective de tirage . . . colonne d'eau		75^{cm}
Charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille		$400^{kg},00$

La machine fonctionne bien et sans bruit; mais le ventilateur est assour-

dissant. Des entraînements d'eau fréquents, qui se sont produits pendant les essais, ont obligé à supprimer complétement le graissage des tiroirs et des cylindres. Cette suppression n'a occasionné aucune avarie. — Dès que la pression de tirage dépasse 15 centimètres d'eau, il vole une grande quantité d'escarbilles par la cheminée. L'exiguïté de la chaudière exige l'emploi d'un charbon très-flambant. Pendant les essais de recette, on a brûlé du *nixon;* plus tard, l'usine d'Anzin a fabriqué des briquettes spéciales, de petites dimensions, qui ont donné de très-bons résultats. La pression de l'air tombe rapidement pendant que l'on charge le fourneau, et il faut accélérer la marche du ventilateur pendant cette opération. Il serait préférable d'avoir un registre à la cheminée, s'il ne devait pas en résulter immédiatement une chute de pression et par suite une diminution de la vitesse.

N° 28_6 Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Fawcet et Preston et de James Jack et Cie. — Le type des machines Compound, construites par *Fawcet* et *Preston*, comporte un cylindre admetteur placé sur l'avant et un cylindre détendeur placé sur l'arrière. — L'arbre de couche a deux coudes calés à 90°; il est porté par trois paliers. — Les cylindres sont supportés par deux bâtis et par un condenseur tubulaire, qui reposent sur la plaque de fondation; ils sont liés l'un à l'autre par la boîte à tiroir du cylindre détendeur. — Les distributeurs sont des tiroirs en coquille à double orifice; celui du cylindre détendeur porte une double garniture de compensateur. Le tiroir du cylindre admetteur est sur l'avant; il est percé de deux orifices d'introduction, comme la table du cylindre, et porte sur son dos un organe de détente variable, formé d'une glissière à quatre barrettes qui jouent le rôle de tiroir sur les orifices de ce distributeur. Cette glissière est munie d'un compensateur; elle possède d'ailleurs une contre-tige. — Les tiroirs sont conduits par des secteurs ayant un arbre de relevage commun, actionné par une petite machine à bielle directe et à un seul cylindre; l'arbre de cette machine est taraudé, et porte un écrou sur lequel est fixée la bielle de manœuvre de l'arbre de relevage des secteurs. Au moment d'arriver à la suspension extrême des secteurs, la valve de la petite machine est fermée automatiquement, par un système de leviers que cette machine met elle-même en mouvement. Un volant monté sur l'arbre de ce moteur auxiliaire sert à régulariser sa rotation, en même temps qu'à déterminer le mouvement dans un sens ou dans l'autre, car la petite valve est fermée aux deux suspensions, extrême et ouverte en grand à mi-suspension du secteur. Les tiroirs ont des contre-tiges terminées par des pistons à vapeur destinés à les soulever; ces pistons se meuvent dans des cylindres rapportés sur les boîtes à tiroir. — L'organe de détente variable est conduit par un excentrique et par l'intermédiaire d'un levier dont la position du centre d'oscillation est variable, ce qui permet de changer à la fois l'angle de calage et la course de l'organe de détente.

Les cylindres sont pourvus d'enveloppes de vapeur en communication constante avec la chaudière. Le petit cylindre possède une deuxième enve-

loppe qui lui sert de conduit d'évacuation, et qui forme réservoir intermédiaire en se boulonnant sur la boîte à tiroir du grand cylindre. — Une soupape de communication de ce réservoir avec la chemise du cylindre détendeur permet d'introduire directement la vapeur dans la boîte à tiroir de ce cylindre, pour faciliter la mise en marche. Les pistons ont la forme ordinaire; ils sont munis de contre-tiges. Les pieds de bielle sont à fourche et à palier; les glissières sont doubles. — Les tubes du condenseur sont horizontaux et en trois faisceaux; la vapeur les contourne et l'eau de circulation les traverse. — La pompe à air est aspirante élévatoire; son piston est conduit par un double balancier que mène la traverse du cylindre admetteur. — La pompe de circulation est à double effet et agit par refoulement à travers les tubes du condenseur; son piston est conduit par un double balancier que mène la traverse du cylindre détendeur. — Sur les traverses de ces pompes sont montés les pistons de deux pompes alimentaires et de deux pompes de cale, à simple effet et à piston plongeur.

Cet appareil constitue un type parfaitement réussi; le condenseur est placé assez bas dans les bâtis pour n'occasionner aucun refroidissement sensible des cylindres. L'ensemble présente beaucoup de solidité; la manœuvre est facile. — On rencontre ce type sur le paquebot américain *Itata*.

Puissance	nominale	340^{ch}
	indiquée	1.360^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple		0,15
Pression absolue aux chaudières		$5^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},62$
	de chauffe	$0^{m.c},3500$
	refroidissante	$0^{m.c},2050$

Dans le type des machines construites par *James Jack*, les deux cylindres placés côte à côte dans l'axe du bâtiment, et solidement boulonnés ensemble, reposent sur quatre bâtis creux en fonte. Ces bâtis sont boulonnés sur une plaque de fondation qui porte quatre paliers pour l'arbre de couche. Les cylindres sont munis d'enveloppes dans lesquelles circule la vapeur venant des chaudières. Le cylindre admetteur est, de plus, entouré par une deuxième enveloppe qui lui sert de conduit d'évacuation, et qui forme réservoir intermédiaire entre les deux cylindres. L'arbre moteur est en deux parties d'égale longueur, reliées par des tourteaux boulonnés et venus de forge avec les bouts d'arbres. Les deux coudes sont calés à 90 degrés. — Les distributeurs sont des tiroirs ordinaires en coquille et sont conduits par des secteurs. Celui du cylindre admetteur est placé sur l'avant; il porte sur son dos un organe de détente variable muni d'un compensateur; celui du cylindre détendeur est entre les deux cylindres et n'est pas compensé. Les poids des deux tiroirs sont équilibrés au moyen de pistons suceurs, montés sur leurs contre-tiges, et se mouvant dans de petits cylindres fixés sur les boîtes des distributeurs. Un tiroir spécial permet d'introduire directement dans le cylindre détendeur, lors de la mise en marche.

Le condenseur tubulaire est placé en travers des bâtis; les tubes sont

horizontaux et en trois faisceaux que la vapeur contourne. Ces tubes sont tenus sur les plaques de tête au moyen de petits presse-étoupe garnis de rondelles en caoutchouc. — La pompe à air et la pompe de circulation sont à simple effet; elles sont placées l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière du condenseur. Les pistons de ces pompes sont mus par des balanciers qui reçoivent leur mouvement des traverses de piston moteur. Chacun de ces balanciers mène une pompe de cale et une pompe alimentaire.

La disposition décrite ci-dessus est celle généralement adoptée par MM. *James Jack*; quelquefois, et pour de petites machines, ces constructeurs placent les tiroirs entre les deux cylindres et suppriment alors l'organe de détente variable. D'autrefois, pour leurs grandes machines, ils adoptent deux pompes à air et deux pompes de circulation, toutes à simple effet, placées deux à deux l'une devant l'autre, et conduites par un balancier à double tourillon.

On rencontre des machines construites par *James Jack* sur divers paquebots et notamment sur la *Louisianna*, de la *Compagnie nationale*, et qui dessert la ligne de *New-York*.

Puissance indiquée.	2.000^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple.	0,20
Pression absolue aux chaudières.	5^{at},25
Surface de grille par cheval indiqué.	4$^{dm \cdot c}$,06
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure. .	1^{kg},120

L'appareil évaporatoire de la *Louisianna*, également construit par MM. *James Jack*, comporte 12 foyers en deux corps à double façade, cylindriques tubulaires à retour de flamme, avec réservoir de vapeur également cylindrique. Les tubes sont en fer et quelques-uns servent de tirant.

N° 28_7 Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à une ou à deux hélices), avec condensation par surface : types de Randolph et de J. Elder. — Comme charpente et transmission de mouvement, ces machines sont exactement semblables à celles du type à pilon, mais à cylindres ordinaires avec condenseur à surface, des mêmes constructeurs (n° 23_6). — On en rencontre deux types qui présentent de légères différences. — Dans le premier, les tiroirs sont aux extrémités; les pompes à air, les pompes de cale et les pompes alimentaires sont conduites par un balancier que mène la traverse de piston du cylindre détendeur; l'axe de ce balancier se prolonge pour s'appuyer sur un troisième palier, et porte une manivelle qui conduit la pompe de circulation. Toutes ces pompes sont en abord du condenseur. — Dans le deuxième type, le tiroir du cylindre détendeur est placé entre les deux cylindres; de plus, la pompe à air et la pompe de circulation ont chacune leur balancier. — Chaque cylindre est muni d'une enveloppe en communication directe avec la chaudière. La vapeur est également introduite dans les vides des doubles fonds des cylindres et même dans ceux du piston du cylindre détendeur, au moyen d'une disposition semblable à celle qui est représentée en *fig. 4, pl.* VI.

Le cylindre admetteur est, de plus, entouré par une deuxième enveloppe qui sert de réservoir entre les deux cylindres. — Pour les machines de moyenne puissance, l'arbre de couche est d'une seule pièce et les manivelles sont équilibrées. Pour les grandes machines, l'arbre est en deux pièces et les tourteaux d'assemblage sont venus de forge avec les bouts de l'arbre.

Les distributeurs sont des tiroirs en coquille à double orifice, équilibrés par de petits pistons à vapeur montés sur les contre-tiges. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs qui ont un levier de manœuvre commun. Sur quelques appareils, le changement de suspension des secteurs s'effectue au moyen d'une petite machine à un seul cylindre à tourreau, attelée directement à l'arbre d'une vis sans fin qui commande l'arbre de suspension. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable; le changement d'introduction s'effectue au moyen du secteur. — Un petit tiroir de manœuvre permet d'introduire directement dans le cylindre détendeur, pour faciliter la mise en marche.

Le condenseur est en deux parties qui font corps avec les bâtis de tribord. Les tubes sont horizontaux dans le sens de la longueur du bâtiment, et en trois faisceaux que la vapeur entoure. Les plaques tubulaires sont en bronze. La jonction des tubes est effectuée au moyen d'une grande plaque de caoutchouc que les tubes traversent, et qui est serrée par une contre-plaque en bronze à rebords circulaires, correspondant aux trous des tubes. Toutes les pompes sont placées en abord du condenseur et sont conduites, ainsi que nous l'avons dit, par des balanciers. Il existe une décharge accidentelle pour la pompe à air. Une tubulure spéciale est ménagée pour l'injection directe. — Ajoutons que, dans quelques appareils, la vapeur qui évacue le cylindre admetteur passe, avant d'arriver à la boîte à tiroir du cylindre détendeur, dans un réchauffeur semblable à celui qui est représenté en *sect.* 5, *pl.* IV.

On rencontre ces machines, en Angleterre, sur un grand nombre de bâtiments du commerce et notamment sur :

Le *Congo*.	de 1.750^{ch} indiqués, appartenant à la *Compagnie africaine*.	
L'*Araucania*. . . .	de 1.700^{ch} indiqués, appartenant à la *Compagnie du Pacifique*.	
Le *Patagonia*. . .	de 1.700^{ch} indiqués, . . *id*. . . . . *id*.	
Introduction	cylindre admetteur.	0,50
	cylindre détendeur.	0,75
	effective, comparativement à une machine à détente simple.	0,15
Pression absolue aux chaudières.		4^{at},50
Surface de grille par cheval indiqué.		1$^{dm.c}$,70

L'appareil évaporatoire des trois bâtiments ci-dessus est composé de chaudières cylindriques doubles (n° 60_2), tubulaires à retour de flamme, surmontées d'un réservoir de vapeur également cylindrique.

Les bâtiments de la flotte anglaise *Hydra* et *Cyclops* sont munis d'appareils des mêmes constructeurs, comportant deux machines distinctes conduisant des hélices jumelles. Chaque machine a deux cylindres Woolf placés côte à côte, dont les pistons agissent sur deux coudes d'un même arbre

placés à 90 degrés. Les tiroirs sont en coquille ordinaire, mais avec orifices de détente, et sont appuyés par des ressorts. Ils sont placés à l'avant et à l'arrière de la machine, et reçoivent leur mouvement de secteurs. Chaque cylindre est muni d'un organe de détente variable. Celui du cylindre admetteur est un piston creux à deux orifices, glissant dans deux cavités pratiquées dans le tiroir de distribution, ce qui constitue un organe semblable à la détente Meyer. L'introduction varie avec la course de l'organe de détente. Pour le cylindre détendeur, l'organe de détente est une plaque frottante placée sur le dos du tiroir, et conduite par un excentrique à calage variable. — Les condenseurs sont à surface; il y en a un par machine. Les pompes à air et de circulation sont conduites par des balanciers attelés aux traverses de piston.

Puissance { nominale	250^{ch}
Puissance { indiquée	1.660^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple	0,20
Pression absolue aux chaudières	$5^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { de chauffe	$0^{m.c},2650$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { refroidissante	$0^{m.c},1580$

N° 28_8 Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Napier, de Caird et de Oswald et Cie. — La machine du type *Napier*, montée sur le steamer à hélice *l'Africa*, est un Compound à pilon à deux cylindres, dont les pistons agissent sur des manivelles calées à angle droit. Ces cylindres sont supportés par le condenseur et par deux colonnes en fer placées, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière. Les tiroirs, en coquille ordinaire, sont conduits directement par des secteurs dont les excentriques sont placés aux extrémités de l'arbre moteur. La manœuvre des secteurs s'effectue au moyen d'un petit arbre portant les bielles de suspension, et actionné par une bielle articulée sur un écrou. Ce dernier est mobile sur une vis que l'on fait tourner au moyen d'un volant. Le cylindre admetteur possède un organe de détente variable à plaque frottante, conduit par un excentrique à calage variable, placé sur le bout avant de l'arbre. — Entre les deux cylindres se trouve un réservoir formé de deux tuyaux latéraux chemisés, que la vapeur traverse pour passer d'un cylindre dans l'autre. — Les tubes du condenseur sont horizontaux; ils forment trois groupes que la vapeur contourne de haut en bas, et qui sont successivement parcourus de bas en haut par l'eau de circulation. La pompe à air et la pompe de circulation sont horizontales, à piston plongeur et à simple effet. Elles sont conduites par des excentriques qui donnent aussi le mouvement aux pompes de cale et d'alimentation. Ces excentriques sont montés sur l'arbre entre les deux cylindres. — Un tuyau d'injection avec crépine débouche dans la partie haute du condenseur, ce qui permet de fonctionner avec la condensation par mélange.

Puissance { nominale		360ch
Puissance { indiquée		960ch de 75km
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple	environ	0,20
Pression absolue aux chaudières		5at,33
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons { de chauffe		0m.c,1560
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons { refroidissante		0m.c,1220

Caird et Cie, de Greenwich, construisent des machines Woolf, à pilon à deux cylindres qui, dans leur ensemble, présentent la même disposition que le type de machine ordinaire décrit au n° 23, et représentée en *sect.* 1, *pl.* I. — Le cylindre détendeur a seul une chemise de vapeur. L'arbre de couche est en deux pièces, et l'angle des manivelles est un peu supérieur à 90 degrés. — Les tiroirs, à double orifice sans compensateur, sont placés entre les deux cylindres. Il existe un organe de détente variable à plaque frottante pour régler l'introduction dans le cylindre admetteur. — La disposition du condenseur et des diverses pompes, ainsi que la transmission du mouvement, sont semblables à celles du type précité.

On rencontre un spécimen de ces appareils, d'une force de 2.500 chevaux indiqués, sur un paquebot de la *Compagnie péninsulaire et orientale*. Avec une pression de 4 atmosphères aux chaudières, l'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, est de 0,28 pour la marche habituelle, et correspond à 0,50 d'introduction dans le cylindre admetteur.

Dans le type de *Oswald et Cie*, les cylindres sont placés sur quatre forts piliers en fonte reposant sur un bâti qui supporte également le condenseur. Le cylindre admetteur est entouré par le réservoir qui le fait communiquer avec le cylindre détendeur et dont la capacité est égale au volume du cylindre admetteur. Une chemise de vapeur entoure ce réservoir et une portion du cylindre détendeur; la vapeur est également introduite dans les vides des fonds et des couvercles des cylindres. Les tiges des pistons se prolongent au-dessus des cylindres, et traversent les couvercles pour servir de guide aux pistons. Les glissières ont une très-grande largeur, ce qui rend l'usure moindre et prévient les échauffements. — Les tiroirs sont en coquille à double orifice; ils sont conduits par des secteurs. Celui du cylindre admetteur est placé sur l'avant et celui du cylindre détendeur est entre les deux cylindres. Les tiges de ces tiroirs se prolongent au-dessus des boîtes, et sont munies de petits pistons compensateurs du poids de ces organes. Le changement de suspension des secteurs s'effectue au moyen d'un arbre longitudinal à deux manivelles, sur lesquelles s'articulent les bielles de remontage. Ce premier arbre est commandé par un second qui lui est perpendiculaire, au moyen d'un engrenage à vis sans fin; l'axe de la vis porte une roue à manettes sur laquelle on agit directement.

Le condenseur est à surface et cylindrique. La pompe de circulation, à piston plongeur et à simple effet, et la pompe à air aspirante élévatoire, ont leurs pistons fixés sur la même tige conduite par le piston du cylindre détendeur au moyen de balanciers, horizontaux dans la position moyenne d'oscillation. La pompe alimentaire et la pompe de cale, placées de chaque

côté de la pompe à air, sont conduites par le té de celle-ci. L'eau d'alimentation passe de la bâche dans une chambre ménagée entre le tuyau d'émission et le cylindre admetteur et y acquiert une température de 70° environ. Cette eau est ensuite aspirée par la pompe alimentaire. Le vide déterminé par l'action de cette pompe est meilleur que celui qui existe au condenseur avec lequel la chambre précitée est toujours en communication. Un clapet flottant est placé à la naissance du tuyau qui communique de la bâche dans ce compartiment, de sorte que si le niveau s'abaissait trop dans la bâche, il ne pourrait pas y avoir de rentrée d'air au condenseur.

Un spécimen de ce type a été placé sur le *Thorwaldsen*, bâtiment construit pour le *Lloyd* de la Baltique.

Puissance { nominale	350ch
Puissance { indiquée	1.370ch de 75km
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple . . . . environ	0,20
Pression absolue aux chaudières	4at,66
Surface refroidissante par cheval indiqué de 75km	0m.c,2400

Des appareils sortant des mêmes ateliers, ne différant de celui du *Thorwaldsen* que par des détails insignifiants et possédant aussi l'installation qui permet de porter l'eau d'alimentation à 70°, ont été montés sur les bâtiments de commerce *Scotia* et *Bertha*. Ces machines, d'une puissance nominale de 250 chevaux et qui ont développé 1.250 chevaux indiqués, fonctionnent à une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, d'environ 0,17.

N° 28, Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de Maudslay, de Day Summers et Cie, de Todd et Gregor, de Palmer et Cie et de Humphrey et Cie. — Tous ces types se ressemblent comme disposition des cylindres et comme transmission de mouvement des pistons à l'arbre de couche.

Dans le type *Maudslay*, le tiroir du cylindre admetteur est en coquille ordinaire; il est placé sur l'avant de ce cylindre. Le tiroir du cylindre détendeur est à double orifice, et est placé entre les deux cylindres. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs. — La condensation s'opère par contact. Un double balancier conduit par un bouton excentré du bout de l'arbre donne le mouvement à toutes les pompes; ce balancier est placé transversalement sur l'avant et à côté du cylindre admetteur. La pompe à air est en abord, à l'extrémité du balancier opposée à l'arbre; la pompe de circulation est placée entre l'arbre et l'axe d'oscillation du balancier. Les traverses de chacune de ces pompes mènent d'un côté une pompe de cale, et de l'autre une pompe alimentaire. Le balancier est actionné par un bouton excentré au moyen d'une petite bielle. On rencontre des machines de ce type sur un certain nombre de bâtiments du commerce.

Puissance { nominale		120^{ch}
Puissance { indiquée		720^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple	environ	0,15
Pression absolue aux chaudières		$5^{at},33$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { de chauffe		$0^{m.c},1420$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { refroidissante		$0^{m.c},1530$

Dans le type *Day Summers et Cie*, les tiroirs sont sur l'avant pour le cylindre admetteur, et sur l'arrière pour le cylindre détendeur. Le premier est en coquille simple, le second est à double orifice; tous les deux sont conduits par des secteurs. Il n'existe pas d'organe de détente variable. Le réservoir dans lequel évacue le cylindre admetteur est très-grand; il contourne presque complétement les deux cylindres. — Le condenseur à surface est horizontal. La pompe à air et la pompe de circulation sont mues par des balanciers à doubles flasques, que conduisent les traverses de tiges de piston, au moyen de menottes. Les tés de ces grandes pompes actionnent les pistons des pompes de cale et des pompes alimentaires qui leur servent de guide. Toutes les pompes ont leurs axes dans un même plan parallèle au plan longitudinal, et la course de leurs pistons est moitié de celle des pistons à vapeur. — On rencontre ce type de machine sur le steamer *Liffey* (ancien *Ruahine*).

Puissance { nominale	300^{ch}
Puissance { indiquée	1.560^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple	0,15
Pression absolue aux chaudières	$5^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { de grille	$1^{dm.c},11$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { de chauffe	$0^{m.c},2980$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons { refroidissante	$0^{m.c},1810$

Le type des machines Compound construites par *Todd* et *Grégor* rappelle les dispositions générales du type ordinaire à pilon des mêmes constructeurs (n° 23_7). La seule différence consiste dans la disposition des tiroirs qui sont ici l'un sur l'avant et l'autre entre les deux cylindres. Il existe un organe de détente variable pour le cylindre admetteur; cet organe est placé sur le dos du tiroir de ce cylindre.

Dans les machines du type *Palmer et Cie*, les deux cylindres sont supportés d'un côté par des colonnes en fer, et de l'autre par des bâtis. La glissière est unique pour chaque cylindre. Les tiroirs sont placés l'un sur l'avant, l'autre entre les deux cylindres; ces tiroirs sont conduits par des secteurs. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable. — Le condenseur, à tubes verticaux, que la vapeur traverse, est noyé dans le bâti du cylindre détendeur. La pompe à air et la pompe de circulation, toutes deux à simple effet, sont placées côte à côte sur l'avant du condenseur. Les tiges de piston de ces pompes sont reliées à une traverse commune, actionnée par un double balancier qui reçoit son mouvement de la traverse de piston du cylindre admetteur, et dont l'axe repose sur deux paliers du bâti de ce cylindre.

On rencontre des machines de ce type sur quelques bâtiments de commerce et notamment sur le *Wisconsin*, d'une puissance nominale de 250 chevaux, qui dessert une ligne de *New-York*. Cet appareil fonctionne à une pression absolue de 6at,25 et avec une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,15 pour la marche à toute puissance.

Dans le type *Humphrey et C°*, les cylindres sont supportés par deux bâtis formant double glissière, et évasés à la partie inférieure. — Le condenseur est venu de fonte avec un des bâtis du cylindre détendeur; les tubes sont verticaux et la vapeur les traverse. La pompe à air et la pompe de circulation sont placées verticalement l'une au-dessus de l'autre, et sur l'avant du condenseur; la pompe à air est en bas et la pompe de circulation en haut; les deux tiges, en ligne droite, sont montées sur une traverse commune actionnée par un double balancier; ce dernier est mis en mouvement par la traverse de piston du cylindre admetteur. La pompe à air est aspirante élévatoire; la pompe de circulation est à piston plongeur et à simple effet, et agit par aspiration dans la chambre à eau du condenseur. — La bâche à eau douce communique avec le tuyau de décharge de la pompe à air par un tuyau vertical terminé par une soupape de retenue; ce tuyau est d'ailleurs muni, vers les deux tiers de sa hauteur, d'un clapet de dégagement d'air chargé seulement par son poids. — Le double balancier des grandes pompes conduit également deux pompes alimentaires et deux pompes de cale, qui sont accolées au bâti du cylindre admetteur, sur l'avant et sur l'arrière, et une de chaque côté de l'axe de ce double balancier. Ces pompes sont verticales à piston plongeur et à simple effet.

N° 28_{10} Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : types de William Allan et de Simons et Cie. — Des appareils construits dans les ateliers de *North Eastern*, à *Sunderland*, sur les plans de *M. William Allan*, ont été placés sur les bâtiments à hélice *Singapore*, *Canton*, *Hong-Kong*, etc., et ont toujours parfaitement fonctionné. Les cylindres sont supportés par six colonnes ou poutres en fonte. — Les deux colonnes extrêmes de tribord (côté de la mise en train) servent de bâches pour le refoulement des pompes de circulation. Les deux colonnes extrêmes du bord opposé remplissent les mêmes fonctions pour les pompes à air. La traverse de chaque piston à vapeur, venue de forge avec la tige du piston, est placée transversalement au bâtiment; elle est munie de coulisseaux glissant dans des guides fixés sur les colonnes avant et arrière. Les colonnes du milieu servent de tuyaux d'évacuation de la vapeur au condenseur. Les tiroirs sont placés entre les deux cylindres, et sont conduits par des secteurs Stephenson. — Le condenseur, qui est venu de fonte avec la plaque de fondation, est situé au-dessous de l'arbre moteur; les tubes sont horizontaux et dirigés dans le sens transversal; ils sont partagés en deux groupes que l'eau froide parcourt successivement de haut en bas, sous l'influence de l'aspiration de la pompe de circulation. La pompe à air et la pompe de circulation sont verticales, à piston plongeur

et à simple effet; ces pistons sont conduits directement par les traverses des pistons moteurs, au moyen de tés boulonnés à plat sur ces traverses. Les boulons de jonction sont très-longs et servent de bras pour mener les pompes alimentaires et les pompes de cale. — Les bâches des pompes à air et des pompes de circulation sont, vers le bas, placées en partie l'une au-dessus de l'autre, la bâche de circulation étant en dessus. Ces bâches sont séparées par une cloison horizontale, sur laquelle se trouve une soupape de communication pour la décharge accidentelle de la pompe à air. Cette soupape, qui s'ouvre de la bâche à eau douce vers la bâche de la pompe de circulation, est naturellement chargée par le refoulement de cette pompe. Lorsqu'on veut marcher en condensant par mélange, on tient habituellement cette soupape ouverte. Des niches pratiquées dans les soutes rendent le démontage des tubes excessivement facile.

Puissance { nominale.	180^{ch}
Puissance { indiquée.	775^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple. . . . . environ	0,17

MM. Simons et Cie ont construit plusieurs machines Woolf, et entre autres l'appareil de 450^{ch} de 75^{km}, monté sur le paquebot *Africa* appartenant à une Compagnie espagnole. — Chaque cylindre, venu de fonte avec une moitié du réservoir d'évacuation du cylindre admetteur, est entouré par une chemise de vapeur. Il est supporté par un bâti et par deux colonnes en fer fixées à la plaque de fondation. Le tiroir du cylindre admetteur est placé sur l'avant et est muni d'un compensateur; le tiroir du cylindre détendeur est placé entre les deux cylindres et n'est pas compensé. Ces tiroirs sont conduits par des secteurs. Il n'existe pas d'organe de détente variable.

Le condenseur à surface est placé entre les deux bâtis; les tubes sont horizontaux et en deux faisceaux que la vapeur contourne. Les plaques tubulaires sont en bronze, et l'étanchéité des tubes est obtenue au moyen de rondelles en caoutchouc à double rebord (n° 48_8), s'emboîtant dans des fraisures et formant ainsi, sous la pression de l'eau refoulée par la pompe de circulation, un joint semblable à celui des garnitures de presse hydraulique. — La pompe à air et la pompe de circulation, à simple effet, sont placées l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière du condenseur. Deux paires de balanciers, articulés sur les traverses de piston, donnent le mouvement aux tiges de ces pompes.

L'appareil évaporatoire de l'*Africa* est une chaudière cylindrique double (n° 60_3) tubulaire à retour de flamme, et comporte quatre foyers.

Puissance indiquée.	450^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple.	0,15
Surface de grille par cheval indiqué.	1^{dmc},210
Charbon dépensé par cheval indiqué et par heure. . . .	1^{kg},00

N° 28_{11} Machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 135° (à hélice), avec condensa-

tion par surface : types de Thomson et Boyd, du Greenock Foundry et de Georges Forester. — *MM. Thomson et Boyd* construisent des machines Compound à deux cylindres, sans réservoir intermédiaire pour l'évacuation du cylindre admetteur. Ils calent les manivelles à 135 degrés, ce qui fait à très-peu près correspondre l'ouverture de l'introduction du cylindre détendeur avec l'ouverture de l'évacuation du cylindre admetteur. Par cette disposition des manivelles, ces constructeurs ont pour but de réduire, autant que possible, les espaces neutres entre les deux cylindres, et par suite les chutes de pression qui résultent du passage de la vapeur dans ces espaces et de la détente qu'elle y subit. Les deux cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur; ils sont supportés par des bâtis évasés à leur partie inférieure et formant glissière. Les tiroirs, placés entre les deux cylindres, mais dans des boîtes séparées, sont conduits par des secteurs; ces tiroirs sont munis de compensateurs. Le cylindre admetteur est d'ailleurs pourvu d'un organe de détente variable glissant sur le dos de son tiroir, et porte lui-même le compensateur. Pour faciliter la mise en marche, le cylindre détendeur est pourvu d'un tiroir qui se manœuvre à la main, et au moyen duquel on introduit directement dans ce cylindre.

Le condenseur est venu de fonte avec deux bâtis; les tubes sont horizontaux dans le sens de la longueur du navire, et en deux faisceaux que la vapeur entoure. L'étanchéité des tubes est obtenue au moyen de bagues en bois comprimé (n° 48_{8}). L'eau de circulation est aspirée au lieu d'être refoulée à travers les tubes. La pompe de circulation et la pompe à air, toutes deux à simple effet, sont placées en abord du condenseur. Ces pompes sont conduites par des doubles balanciers, qui mènent en même temps deux pompes alimentaires et deux pompes de cale; les pistons de ces dernières pompes servent de guide à la traverse de la grande pompe correspondante. Il existe une injection directe au moyen de laquelle le condenseur peut être naturellement transformé en condenseur par mélange. Dans ce cas, une soupape de communication permet à la pompe de circulation d'aspirer dans la chambre à vapeur du condenseur, et de remplir par suite les fonctions de pompe à air.

Les appareils dont il est ici question fonctionnent à une pression absolue de 5^{at}, et avec une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,125; l'introduction est de 0,50 dans le cylindre admetteur.

Le Greenock Foundry (jadis *Scotter Sinclair*) construit aussi des machines Compound, à deux cylindres, dont les manivelles sont calées à 135 degrés. — Le type de cet appareil diffère du précédent en ce que les tiroirs ne sont pas compensés et que l'organe de détente variable est supprimé. L'introduction est réglée à 0,625 dans le cylindre admetteur, et il en résulte une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,156. D'autre part, le condenseur à surface a les tubes verticaux; la vapeur passe dans les tubes et l'eau froide les entoure. — On rencontre une machine de ce type sur le *Sampiéro*, paquebot de la Compagnie *Valéry*. La pression absolue aux chaudières est de $5^{at},25$.

Georges Forester et C°, ont également construit pour le *City of Limerick*, desservant une ligne de *New-York*, une machine Compound à deux cylindres dont les manivelles sont calées à 135 degrés. — Comme type, cet appareil ressemble beaucoup à celui de *James Jack* (n° 28_6), dont il ne diffère que par le calage des manivelles et quelques dispositions de détail.

Puissance nominale.	250ch
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple..	0,10
Pression absolue aux chaudières.	6at,00
Charbon dépensé par heure et par cheval de 75km.	0kg,900

N° 28_{12} Machines Woolf, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : types de La Ciotat et de Penn et fils. — Le premier type des machines Woolf construites
Sect. 4, Pl. II. par l'usine de *La Ciotat* est représenté en *sect. 4, pl.* II; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous ses organes. — L'appareil comporte trois cylindres égaux placés dans l'axe du bâtiment; la vapeur n'est admise directement que dans le cylindre du milieu, et, à l'évacuation de ce cylindre, elle se distribue entre les deux autres, où elle travaille en se détendant. A l'évacuation de chaque cylindre détendeur, la vapeur se rend dans un condenseur par surface. — Les cylindres sont pourvus d'enveloppes qui communiquent directement avec la chaudière, de sorte que la vapeur qui remplit ces enveloppes, ainsi que les cavités des fonds et des couvercles, ne travaille pas dans les cylindres. — L'arbre a trois coudes : les coudes des cylindres détendeurs forment entre eux un angle de 90°, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. Cet arbre est en trois parties boulonnées par l'intermédiaire de petits tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre; il est porté par six paliers faisant corps avec la plaque de fondation.

Les cylindres sont supportés par des bâtis à section rectangulaire, évasés à la partie inférieure pour le passage des coudes. — Le cylindre admetteur est relié à chaque cylindre détendeur par l'intermédiaire de deux boîtes à tiroir; la cloison de séparation de ces deux boîtes est percée, pour le passage de la vapeur qui se rend de l'évacuation du cylindre admetteur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur. — Le cylindre admetteur a deux tiroirs en coquille à double orifice et à dos percé, avec garniture de compensateur pour isoler son évacuation d'avec la vapeur qui remplit sa boîte à tiroir.

La paroi du cylindre admetteur est creusée, de chaque côté, comme si l'évacuation devait se faire latéralement, le tiroir étant en coquille sans dos percé; un tuyau met en communication ces deux cavités d'évacuation, et le volume total ainsi formé sert de réservoir intermédiaire entre le cylindre admetteur et les deux autres cylindres. — Les distributeurs des cylindres détendeurs sont également des tiroirs en coquille à double orifice, mais sans compensateur; l'évacuation se fait latéralement par l'intermédiaire des conduits ordinaires d'évacuation des tiroirs en coquille. — Tous les tiroirs sont conduits par des secteurs dont le changement de suspension s'effectue par paire, au moyen d'un levier commun de manœuvre, actionné par une vis et un volant. — L'introduction fixe a lieu dans le cylindre admetteur pendant les 0,76 de la course de son piston, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,38. — Il n'existe aucun organe spécial de détente variable. — Sur les conduits qui amènent la vapeur aux boîtes à tiroir du cylindre admetteur se trouvent deux robinets qui permettent de faire communiquer ces conduits avec les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs. Ces deux robinets se manœuvrent en même temps; on les ouvre au moment de la mise en marche pour assurer le départ de la machine.

Deux condenseurs par surface, à tubes verticaux, sont placés côte à côte à tribord; ils sont du même jet de fonte que le bâti correspondant du cylindre admetteur; la vapeur passe dans les tubes. La plaque de fondation forme les réservoirs inférieurs des condenseurs. — Les pompes à air, aspirantes élévatoires, sont conduites par des balanciers que mènent les traverses de piston des cylindres détendeurs. — Les pompes de cale et les pompes alimentaires, placées tout à fait aux extrémités, sont conduites par les flasques extérieures de ces balanciers. — L'eau de circulation est refoulée dans chaque condenseur par une double pompe centrifuge; toutes ces pompes sont montées sur l'arbre d'une petite machine à pilon à un seul cylindre, qui est accôlée aux condenseurs. Cette machine auxiliaire a sa prise de vapeur sur les enveloppes des cylindres, et entretient ainsi dans ces enveloppes un courant continu.

Dans le deuxième type des machines Woolf construites par *La Ciotat*, le cylindre admetteur a un volume deux fois plus petit environ que chacun des cylindres détendeurs; il est muni d'un organe de détente variable au moyen duquel l'introduction peut être réduite depuis 0,58 jusqu'à 0,37 de la course du piston. Cet organe de détente

est double comme les tiroirs, et se compose de plaques frottantes à orifices multiples, conduites par des excentriques à calage fixe et à déclanche. Ces plaques se meuvent sur les cloisons latérales des boîtes à tiroir où aboutissent les conduits de vapeur. Le changement d'introduction est obtenu par la modification du rapport des bras de levier de la transmission de mouvement de l'arbre de couche à l'organe de détente, ce qui permet de faire varier la course de cet organe. L'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, est de 0,175 pour la marche à toute puissance, et peut être réduite à 0,095. — Tous les secteurs qui conduisent les tiroirs ont un arbre de relevage commun, actionné par une mise en train à vapeur système *Duclos* (n° 34_6). — Toutes les autres parties de l'appareil présentent la même disposition que dans le type précédent. — La pression absolue de la vapeur aux chaudières est de $5^{at},8$.

On rencontre des machines de ces deux types sur les paquebots des messageries maritimes; la légende de la *pl.* II donne les renseignements qui s'y rapportent.

(Voir, pour la régulation et pour les résultats des essais de quelques-unes de ces machines, les tableaux A, C et C *suite*.)

MM. *Penn et fils* ont construit pour l'aviso italien *le Cristoforo-Colombo* une machine à trois cylindres égaux dans le genre du type de *La Ciotat*, destinée à fonctionner comme machine Woolf aux allures moyennes, et comme machine à détente simple pour l'allure à toute vitesse. Il existe un seul condenseur tubulaire à tubes horizontaux; la pompe de circulation est à action centrifuge et possède un moteur spécial. — La vapeur est fournie par 8 chaudières cylindriques à deux fourneaux.

Puissance réalisée	à toute puissance	3.800^{ch} de 75^{km}
	avec la moitié des feux	1.600^{ch} de 75^{km}
Introduction	pour la marche à toute puissance, détente simple.	0,50
	avec la moitié des feux, 0,3 au cylindre admetteur et 0,5 aux deux cylindres détendeurs, effective au Woolf	0,15
Pression absolue aux chaudières		$5^{at},00$

N° 28_{13} Machines Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à une ou à deux hélices), avec condensation par surface : types du Creusot et de John Elder. — Les appareils du type *Creusot*, montés sur les

transports *Annamite* et *Mytho*, comportent trois cylindres côte à côte placés dans l'axe du bâtiment, le cylindre admetteur au milieu et les cylindres détendeurs aux extrémités. Les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes; cet arbre est en trois morceaux réunis par des plateaux venus de forge avec eux, et solidement boulonnés ensemble. Les coudes des cylindres détendeurs forment un angle de 90°, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. Chacun des trois cylindres est muni d'une enveloppe dans laquelle est introduite la vapeur venant des chaudières. La vapeur est également introduite dans les fonds et dans les couvercles des trois cylindres. — Le diamètre du cylindre admetteur est de 1^m,40, celui de chacun des cylindres détendeurs est de 1^m,86, les pistons ont une course commune de 1 mètre. — L'introduction fixe réglée par les tiroirs est de 0,70 pour les trois cylindres, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,20.

Les tiroirs sont placés latéralement, par rapport aux cylindres, à tribord; chacun d'eux est conduit par deux excentriques réunis par une coulisse Stephenson. Tous les excentriques du mouvement des tiroirs sont montés sur un arbre auxiliaire horizontal, auquel le mouvement de l'arbre moteur est transmis par l'intermédiaire d'engrenages. — Les trois secteurs ont un arbre de relevage commun actionné par une petite machine à vapeur, de manière qu'un seul homme peut renverser la marche. — Une petite soupape d'arrêt permet d'envoyer directement la vapeur des chaudières dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, pour assurer le balancement et la mise en marche de l'appareil.

Les condenseurs, placés en abord, sont au nombre de deux; ils sont tubulaires avec circulation d'eau à l'intérieur des tubes. Chaque condenseur est muni d'une pompe à air et d'une bâche spéciale. Les pompes à air sont aux extrémités de la machine; leurs pistons sont à fourreau et reçoivent leur mouvement d'un excentrique calé sur l'arbre principal. Une disposition spéciale permet d'injecter une certaine quantité d'eau dans le condenseur, soit pour réparer les pertes, soit pour condenser la vapeur qui peut exister dans ce récipient au moment de la mise en marche. — Il existe, pour l'eau de circulation dans les condenseurs, un appareil complet composé d'une petite machine à vapeur à deux cylindres, et de deux pompes rotatives actionnées directement par cette machine auxiliaire. Chacune

de ces pompes dessert un condenseur; elle est disposée pour pouvoir aspirer à la mer et à la cale. — Les pompes alimentaires et les pompes de cale, au nombre de deux par espèce, sont menées par des excentriques montés sur l'arbre secondaire des tiroirs.

L'appareil évaporatoire est formé d'un seul groupe comprenant huit corps de chaudières à haute pression, cylindriques, à deux foyers chacun, avec chambre de chauffe longitudinale. Ces chaudières sont tubulaires à retour de flamme; les tubes sont en laiton, sauf 18 tubes par foyer, destinés à servir de tirants aux plaques de tête, et qui sont en fer. — Deux pompes à vapeur spéciales du système *Behrens* (n° 64_4), pouvant refouler 13.500 litres d'eau à l'heure, sont destinées à assurer l'alimentation pendant les temps d'arrêt. — Ces pompes sont pourvues d'un tuyautage de refoulement complet, et indépendant de celui des pompes alimentaires attenant à la machine.

Force en chevaux de 75^{km} sur les pistons	appareil moteur.	2.590^{ch}	2.640^{ch}
	machine des pompes de circulation.	50^{ch}	
Introduction fixe aux trois cylindres.			0,70
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple.			0,20
Pression absolue aux chaudières.			5^{at},00
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille.		$1^{dm.c}$,30
	de chauffe.		$0^{m.c}$,3000
	refroidissante.		$0^{m.c}$,4200
Consommation de charbon par heure et par cheval indiqué. .			1^{kg},00

John Elder et C°, de *Glascow*, ont construit pour le cuirassé anglais *l'Inflexible* un appareil double à trois cylindres Woolf, d'une puissance totale de 8.000^{ch} de 75^{km}, et menant deux hélices indépendantes, qui présente quelques particularités intéressantes. Dans chaque machine, le cylindre admetteur est placé au milieu et a un diamètre plus petit que ceux des cylindres détendeurs. Les cylindres sont formés d'une chemise en acier comprimé de *Whitworth*, recouverte par un deuxième cylindre en fonte, avec portages aux extrémités seulement pour former une chemise de vapeur. Les tables des cylindres sont en bronze phosphoreux de 5 centimètres d'épaisseur. Les pistons ont deux tiges qui se fixent sur la même traverse, de chaque côté du tourillon du pied de bielle, ce qui fait que ce dernier organe a ses deux extrémités simples et à palier. L'arbre moteur est en trois parties reliées par de petits tourteaux boulonnés. La ligne d'arbres est tubulaire en acier comprimé de *Withworth*.

Les tiroirs sont cylindriques; ils sont conduits par des secteurs que l'on manœuvre au moyen d'un appareil à vapeur comme moteur, et d'un appareil hydraulique comme frein. Pour la mise en marche, on emploie des tiroirs additionnels qui distribuent la vapeur dans les orifices des cylindres détendeurs. Chaque cylindre est muni d'un organe de détente pouvant faire varier l'introduction effective, comparativement à une ma-

chine à détente simple, depuis 0,17 jusqu'à 0,30. Les tiroirs de détente sont cylindriques et à gril; ils sont confectionnés en bronze phosphoreux; les boîtes sont en fonte. Ces organes sont conduits par des secteurs et il existe un système de déclanchement.

Chaque machine est pourvue de deux condenseurs tubulaires, avec vapeur dans les tubes et eau à l'extérieur. Ces condenseurs peuvent fonctionner par mélange. Les pompes de circulation sont du système centrifuge et ont un moteur spécial; elles sont disposées pour aspirer l'eau de la cale. Les pompes à air, une par condenseur, sont actionnées, au moyen de balanciers, par les traverses de piston des cylindres détendeurs. Deux pompes alimentaires sont également conduites par chaque balancier. — La machine peut être virée à bras ou au moyen d'un moteur à vapeur.

La vapeur est fournie par 12 chaudières dont 4 sont chauffées des deux côtés (n° 60_2) et 8 d'un seul côté. L'ensemble forme deux chaufferies de 18 fourneaux chaque, placées transversalement. Ces chaudières sont enveloppées de quatre épaisseurs de feutre, et le tout est recouvert d'une mince feuille de tôle galvanisée. Les soupapes de sûreté sont chargées à 4^{at} de pression effective au moyen de ressorts.

N° 28_{14} Machines Woolf multiples, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à 120° (à hélice), avec condensation par surface : types de John Elder et C° et de Perkins et fils. — L'appareil moteur construit par *John Elder*, pour le bâtiment de commerce de 350 chevaux nominaux *le Propontis*, comporte trois cylindres inégaux avec *détente successive d'un cylindre dans l'autre*. Le cylindre admetteur placé sur l'avant reçoit d'abord la vapeur de la chaudière; il évacue dans un premier cylindre détendeur placé à côté de lui, dans l'axe du bâtiment. De ce premier cylindre détendeur, la vapeur passe dans un deuxième cylindre détendeur, placé sur l'arrière, et de là, elle est évacuée dans un condenseur à surface.

Le volume du cylindre admetteur étant représenté par 1, celui du premier cylindre détendeur est 2,6 et celui du deuxième cylindre détendeur 7. Au point de vue de la détente, le cylindre détendeur intermédiaire ne doit pas entrer en ligne de compte, et la détente se produit comme si le cylindre admetteur évacuait directement dans le deuxième cylindre détendeur. L'introduction fixe du cylindre admetteur étant 0,7, il en résulte une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,1. Cette introduction effective est réduite à 0,07 avec une introduction de 0,5 au cylindre admetteur, réglée par l'organe de détente. Ces faibles introductions nécessitent une pression initiale assez élevée; aussi, les chaudières fonctionnent-elles à une pression absolue de 10 atmosphères.

Tous les cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur; la vapeur est également introduite dans les doubles fonds des couvercles. La vapeur qui entoure le cylindre admetteur et le premier cylindre détendeur est prise directement aux chaudières de la machine. La vapeur qui entoure le deuxième cylindre détendeur est fournie par une chaudière spéciale qui se trouve dans la chambre de chauffe avant, et qui est alimentée à l'eau

de mer. L'eau provenant de la vapeur condensée dans la chemise et les doubles fonds des couvercles de ce dernier cylindre sert à réparer les pertes d'alimentation des chaudières principales. — Toutes les purges aboutissent au condenseur.

Les tiroirs sont cylindriques; ils sont situés sur le côté tribord des cylindres. La capacité des boîtes à tiroir et des tuyaux de conduite d'un cylindre à l'autre est suffisante pour former un réservoir d'un volume modéré. — Tous les tiroirs sont conduits par des secteurs; l'introduction fixe est d'environ 0,7 pour tous les cylindres et peut être abaissée jusqu'à 0,5 pour le cylindre admetteur, par un organe de détente variable.

Un condenseur tubulaire, placé à tribord de la machine, reçoit la vapeur qui évacue le deuxième cylindre détendeur. Chaque tube est maintenu par un petit presse-étoupe taraudé dans la plaque de tête; la garniture de ce presse-étoupe est en chanvre. La pompe à air et la pompe de circulation sont placées sous le condenseur; la première est à simple effet et la seconde à double effet. — L'eau d'alimentation est filtrée avec du noir animal avant de retourner aux chaudières.

Cet appareil est un de ceux qui ont donné les meilleurs résultats au point de vue économique. Sa dépense de charbon ne s'est élevée qu'à $0^{kg},800$ par heure et par cheval indiqué.

L'appareil évaporatoire est composé de chaudières *Rowan* et *Horton* (n° 61_2) formant deux groupes accolés dos à dos, avec chaufferies transversales. Le tout est renfermé dans une enveloppe en tôle avec revêtement en briques. — Chaque chaudière se compose de sept tubes horizontaux placés à trois niveaux différents, et reliés entre eux par un grand nombre de tubes verticaux courbés. Des tubes verticaux d'une plus grande section relient entre elles les extrémités de ceux qui sont horizontaux. Cette multiplicité de tubes verticaux a pour but de faciliter le dégagement plus rapide des bulles de vapeur, et par conséquent de s'opposer aux entraînements d'eau.

Chaque chaudière a deux grilles qui sont disposées entre les trois rangées de tubes horizontaux inférieurs. Des écrans en tôle sont placés de manière à forcer les gaz de la combustion de passer d'abord vers le sommet de la chaudière, puis de descendre pour remonter ensuite vers la cheminée.

Puissance	nominale	250^{ch}
	indiquée	1.000^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindre admetteur	0,7 et 0,5
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,10 et 0,07
Pression absolue aux chaudières		$10^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},13$
	de chauffe	$0^{m.c},8000$
Consommation de charbon par heure et par cheval indiqué		$0^{kg},800$

Dans le type *Perkins* des machines Woolf à cylindres successifs, la vapeur est introduite dans un premier cylindre à simple effet, et, de là, dans un deuxième cylindre, également à simple effet, dont le volume est quatre fois celui du premier. Les deux cylindres sont l'un sur l'autre et les pistons ont

une tige commune, comme l'indique la disposition *fig.* 5, *pl.* V. Le troisième cylindre est à double effet, et son volume est deux fois plus grand que celui du second cylindre; sa manivelle fait un angle de 90 degrés avec la manivelle commune aux deux premiers cylindres. Tous les cylindres ont des chemises de vapeur formées de tubes en fer forgé; ces tubes sont logés dans l'épaisseur de la fonte et communiquent directement avec la chaudière. Les cylindres sont de plus recouverts, ainsi que les boîtes à tiroir, d'une enveloppe en tôle mince dans laquelle on a tassé du noir végétal. — La pression absolue à la chaudière est de 23^{at}; la température est très-élevée, et pour éviter les fuites, ainsi que l'influence de cette haute température sur les matières lubrifiantes, le premier cylindre n'est pas graissé et la vapeur est admise sur le piston, côté où il n'y a pas de tige; l'introduction est d'ailleurs limitée à la moitié de la course. Pour le deuxième cylindre, la vapeur est admise sous le piston, côté de la tige, et sa température est assez basse pour qu'on puisse graisser le cylindre. De là, la vapeur se rend dans un espace annulaire ménagé au sommet du deuxième cylindre, et en communication avec la boîte à tiroir du troisième cylindre. Dans ce dernier, l'introduction est limitée au quart de la course du piston. Avec les deux premiers cylindres, la détente est déjà de 8, et la détente totale est de 32, ce qui correspond à une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,03. S'il n'y avait aucune chute de pression entre les divers cylindres, la vapeur n'arriverait à la fin de course du troisième piston qu'avec une pression de $0^{at},7$; mais la pression d'évacuation doit être notablement inférieure, malgré l'action des chemises, et la détente a certainement été poussée aussi loin que possible.

Le condenseur est tubulaire à tubes en fer, de 30^{mm} de diamètre extérieur et de 4^{mm} d'épaisseur. Ces tubes sont verticaux, soudés et fermés à l'extrémité supérieure, et solidement maintenus à une plaque de tête fixée à la partie inférieure. D'autres tubes ouverts aux deux bouts sont placés concentriquement dans les premiers, bien ajustés sur une plaque inférieure; l'eau de circulation les traverse de bout en bout et revient par l'espace annulaire. Cette eau est ainsi mieux utilisée. Un petit condensateur à serpentin, alimenté par une chaudière spéciale, sert à réparer les pertes d'eau douce. Les purges et toutes les évacuations des soupapes aboutissent au condenseur. — La vapeur est fournie par des chaudières à tubes d'eau où la circulation est très-rapide, et l'on n'a pas remarqué que l'eau ait une action corrosive sur le métal des chaudières. — La consommation de combustible est d'environ $0^{kg},700$ par heure et par cheval indiqué.

On rencontre des machines de ce type sur quelques bâtiments de commerce anglais.

N° 29. — 1. Description complète d'une machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : type d'Indret. — 2. Description complète d'une machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : type d'Indret. — 3. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : autres types d'Indret.

N° 29_1 Description complète d'une machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : type d'Indret. — Le type des machines de Woolf à bielle en retour, de la marine militaire, comporte trois cylindres égaux placés du même bord, avec introduction directe dans un seul, celui du milieu, et avec détente dans les deux autres. Dans leur ensemble, tous les appareils de ce type sont semblables et fonctionnent de la même manière; ils ne diffèrent d'une usine à l'autre que par des détails de construction dont il sera d'ailleurs parlé à l'article du type de chaque usine. Le type d'Indret, qui est le plus répandu, et dont il va être spécialement question, est représenté en *sect.* 1, *pl.* III; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous ses organes.

Sect. 1. Pl. III.

Les cylindres extrêmes ou *détendeurs* sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles passe la vapeur pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre milieu ou *admetteur*. Les cavités des fonds et des couvercles des trois cylindres sont en communication avec ces enveloppes, et toutes les purges aboutissent à un tuyau commun 11, *fig.* 3, qui porte le robinet purgeur. — La vapeur arrive directement dans les enveloppes des cylindres détendeurs, les remplit et franchit ensuite les papillons *v*, formant registres, et qui ont un levier de manœuvre commun, placé à côté de la mise en train. Cette vapeur débouche ensuite, par des conduits latéraux, dans la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Après avoir travaillé dans ce cylindre, la vapeur est évacuée dans les conduits V′ qui l'amènent aux boîtes à tiroir des cylindres extrêmes, et travaille dans ces cylindres en se détendant. A l'évacuation des cylindres détendeurs, la vapeur se rend au condenseur correspondant au cylindre d'où elle provient et qui est placé en face de ce cylindre. — Les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes; les coudes des cylindres détendeurs forment

entre eux un angle de 90 degrés, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle.

Les distributeurs sont des tiroirs en D long, avec garnitures et presse-étoupe à lanterne aux deux extrémités. Pour les cylindres détendeurs, ces garnitures sont en chanvre et appuient sur une bague métallique en deux parties, qui frotte sur le dos du tiroir; pour le cylindre admetteur, les garnitures sont métalliques (n° 34_1). Les tiroirs sont conduits directement par un arbre à trois coudes, parallèle à l'arbre moteur, et qui est en trois parties, avec jonction au moyen de petits tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre. Six paliers faisant corps avec les bâtis supportent l'arbre des tiroirs. — Les pieds de bielle de tiroir sont à fourche : le coulisseau n'a qu'une glissière inférieure fixée sur le couvercle de la boîte à tiroir et sur le cylindre. — Il n'existe pas d'organe de détente variable; l'introduction a lieu dans le cylindre admetteur pendant les 0,88de la course de son piston, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,44. Dans les cylindres détendeurs, l'introduction est de 0,78. — Le mécanisme de renversement de marche est du système Mazeline; il est muni du frein à griffes décrit au n° 34_4. — Sur la boîte à tiroir de chaque cylindre détendeur se raccorde une soupape d'arrêt *v'*, *fig.* 3, placée sur un tuyau de communication entre cette boîte à tiroir et le conduit de vapeur venant des chaudières. En ouvrant cette soupape, on introduit directement dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, soit pour échauffer ces cylindres, soit pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche.

Il n'existe pas de plaque de fondation; les cylindres, les condenseurs et les bâtis reposent directement sur les carlingues. Les condenseurs, reportés sur les extrémités, ont leur partie inférieure prolongée horizontalement, pour servir de glissières aux traverses de piston des cylindres détendeurs et pour recevoir la pompe à air; ils sont arrondis vers l'extrémité de la face transversale intérieure, et du côté des cylindres, pour former un appendice destiné à recevoir le tuyau d'évacuation. Sauf en dessus de cette partie arrondie, les traverses de piston sont à découvert. — Entre les deux prolongements horizontaux des condenseurs se place une forte pièce en fonte qui les relie l'une à l'autre, et dont la face supérieure porte la glissière de la traverse du piston du cylindre admetteur. Les condenseurs sont encore reliés à leur partie supérieure par un fort

tirant 28, *fig.* 4 et 5, qui passe dans une douille venue de fonte sur le sommet de chaque condenseur. — Les quatre bâtis de l'arbre affectent la forme de ceux des machines Dupuy de Lôme; ils sont boulonnés aux cylindres dans toute leur hauteur. Les deux bâtis extrêmes portent chacun un palier de l'arbre des tiroirs; ils sont boulonnés à la partie inférieure des condenseurs. — Les deux bâtis intermédiaires portent chacun deux paliers pour l'arbre des tiroirs (*fig.* 3); ils sont boulonnés par la partie inférieure à la pièce de jonction des condenseurs.

Les fonds et les couvercles des cylindres sont pourvus de soupapes de sûreté maintenues sur leurs siéges par des ressorts paraboliques. Il existe, en outre, un robinet purgeur pour chaque bout du cylindre; ces robinets se manœuvrent du parquet supérieur. — Les garnitures des pistons moteurs sont formées de deux bagues superposées dans le sens de l'axe et appliquées contre la paroi du cylindre par des ressorts paraboliques. Le piston repose sur ces bagues par l'intermédiaire de cales engagées dans deux talons qu'on aperçoit dans la coupe *fig.* 3. — L'emmanchement des tiges est cylindrique sur les pistons comme sur les traverses; ces tiges portent un collet d'un côté, et sont serrées de l'autre par un écrou; sur le piston, l'écrou est en partie noyé dans la carcasse de cet organe. — Comme les tiges sont d'une seule pièce, les bagues ainsi que les chapeaux des presse-étoupe sont en deux parties. Le chapeau du presse-étoupe principal porte d'ailleurs un deuxième presse-étoupe destiné à maintenir le suif de graissage des tiges. Sur quelques appareils, la garniture du presse-étoupe principal des cylindres détendeurs emprisonne une boîte dont l'intérieur reste toujours en communication avec les cavités du couvercle; de cette façon, l'air ne pénètre jamais dans les cylindres détendeurs par les fuites qui pourraient se produire à ces presse-étoupe. — Les jougs ou traverses *u*, *fig.* 5, reposent sur un coulisseau à double équerre *g*, entre les branches duquel se meut le pied de bielle. Ce coulisseau est garni d'antifriction sur les deux faces de la partie horizontale. La glissière est complétée, pour la marche arrière, par une traverse qui s'engage entre les deux branches du coulisseau, et dont les extrémités reposent sur des tasseaux formant entretoise, et sont boulonnées sur les parties horizontales des condenseurs ou de la pièce de jonction de ces récipients. Les pieds et les têtes de bielle sont simples et à palier; les coussinets sont en bronze; ils forment eux-mêmes le corps du palier et sont maintenus

par de forts boulons, entre un talon venu de forge avec la bielle et une plaque de fer sur laquelle appuient les écrous. Le coussinet de tête de bielle est garni d'antifriction. — Les paliers de l'arbre de couche et ceux de l'arbre des tiroirs sont exactement semblables à ceux des machines Dupuy de Lôme; le serrage est horizontal.

La vapeur débouche dans le condenseur par la partie supérieure de la face arrondie, et les produits de la condensation tombent à la partie inférieure et entourent presque complétement la pompe à air. — L'arrivée de l'eau d'injection est réglée par une vanne I, *fig.* 5; les deux leviers de manœuvre, un par condenseur, sont placés sur la face transversale du condenseur avant, à côté de la mise en train; le régulateur d'injection du cylindre arrière est mû par l'intermédiaire d'un axe horizontal qui passe par-dessus les deux condenseurs. Sur quelques appareils, le levier de manœuvre de chaque injection est accolé à son condenseur; l'axe de celui de l'arrière se prolonge par-dessus les condenseurs et porte à son extrémité un petit levier qui se fixe, au moyen d'une vis à T, sur la poignée de manœuvre de l'injection avant. On peut ainsi, lors de la mise en marche, ouvrir les deux injections à la fois, quitte à déclancher l'injection arrière quand la machine est en route, afin de pouvoir régler convenablement cette injection, et indépendamment de celle de l'avant. — Le robinet d'injection à la cale est placé très-haut, de sorte que l'eau amenée par cette injection peut remplacer, dans une certaine mesure, celle de l'injection à la mer; la position élevée de ce robinet est d'ailleurs très-favorable à sa manœuvre.

Les cylindres de pompe à air sont un peu en saillie sur la partie horizontale des condenseurs : ces pompes sont à double effet. Les pistons ont une garniture; ils sont menés directement par des tiges de piston spéciales *b*, *fig.* 2, des cylindres détendeurs. La tige de piston de pompe à air et la tige de piston correspondante du cylindre moteur sont reliées par un manchon claveté sur chacune de ces tiges. — Tous les clapets sont circulaires et en caoutchouc; ceux de la bâche sont horizontaux. Les clapets de condenseur sont sur deux plans : l'un horizontal, plus spécialement destiné à l'introduction de l'eau, et l'autre vertical, mais plus élevé, pour faciliter le passage de l'air du condenseur dans la pompe. Comme la bâche est en abord, *fig.* 6, l'eau refoulée par le bout de la pompe qui est du côté de la tige du piston contourne une partie du condenseur pour atteindre le tuyau de décharge, en passant dans le conduit rectangulaire qu'on

aperçoit dans la partie déchirée de la *fig.* 5 et dans la coupe de la *fig.* 4. — Le tuyau de décharge est muni d'un clapet de retenue 17, *fig.* 6, qui fonctionne librement à chaque coup de piston de la pompe à air et qui se ferme dès que cette pompe ne fonctionne plus. Une poignée extérieure, fixée sur la tige de ce clapet, permet de le faire tourner pour le décoller, dans le cas où il serait gommé sur son siége après un certain temps d'arrêt; cette poignée permet d'ailleurs de suspendre le clapet, pour l'empêcher de battre lorsque la machine est en route.

Les pompes alimentaires sont un peu en saillie dans la partie inférieure de l'arrondi des condenseurs; elles sont à piston plongeur et à simple effet. Le piston de chaque pompe est conduit par un bras de la tige de piston supérieure du cylindre détendeur correspondant; ce bras est venu de forge avec la tige de piston. Les boîtes à clapets sont accolées aux condenseurs, derrière les parties arrondies, et se font face. Les tuyaux de refoulement se réunissent en un seul pour aller aux chaudières. Au moyen des robinets 19 et 23 et du robinet placé sur le tuyau de refoulement 22, *fig.* 2, les boîtes à clapets peuvent être complétement isolées, de sorte qu'on peut les visiter en marche. — Il existe trois grandes pompes de cale P'_c, à piston plongeur et à simple effet, dont les corps font un peu saillie sur la partie horizontale des condenseurs et de leur pièce de jonction. Les pistons de ces pompes sont conduits par les tiges de piston inférieures des cylindres, au moyen de bras montés sur ces tiges et venus de forge avec elles. Ces pompes peuvent être déclanchées lorsqu'on n'a pas besoin de les faire fonctionner, en retirant les écrous qui relient les tiges au bras précité; après ce déclanchement, les pistons plongeurs sont repoussés jusqu'au fond des corps de pompe, et on abaisse devant les tranches de ces pistons les taquets qu'on aperçoit sur la *fig.* 5, et qui sont maintenus en place par des linguets.

Les pieds et les têtes de bielles sont pourvus de graisseurs à lécheurs; toutes les autres articulations ont des graisseurs ordinaires à siphon. Les paliers de l'arbre de couche ont deux graisseurs, un de chaque côté du bâti. — Des tuyaux d'arrosage sont disposés pour amener de l'eau, en cas d'échauffement, sur les joues des paliers de l'arbre, ainsi que sur les joues des pieds et des têtes de bielles. — Le graissage des tiroirs et des cylindres s'effectue d'une manière continue au moyen du *Roscoët* représenté en 2, *fig.* 1 et 2, et décrit au n° 53$_4$. L'introduction du suif n'a lieu que dans les boîtes à tiroir,

d'où la vapeur l'entraîne dans les cylindres. Il existe un appareil de graissage supplémentaire à la main, au moyen d'une seringue 2', placée à côté de chaque *Roscoët* et avec laquelle on refoule du suif fondu dans le tuyau de graissage de ce dernier appareil.

Antérieurement au type dont il vient d'être question, l'usine d'*Indret* a construit, pour la frégate cuirassée *la Valeureuse*, une machine Woolf, horizontale à trois cylindres, dont les pistons agissent sur des coudes calés à 120 degrés. Cet appareil, qui est d'une puissance nominale de 900 chevaux de 300^{km}, diffère peu, comme disposition générale, des appareils du type décrit ci-dessus. — Les cylindres détendeurs sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre admetteur. A la sortie de ces enveloppes et de chaque côté du cylindre admetteur, la vapeur pénètre dans une boîte à détente à piston creux, et passe ensuite à travers un registre placé immédiatement au-dessus. Actuellement, l'organe de détente est supprimé. — Les distributeurs sont des tiroirs en D conduits par des coudes d'un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur. Le mécanisme de renversement de marche, qui est du système Mazeline, a été pourvu du frein à griffes décrit au n° 34_4. Un tuyau muni d'une soupape d'arrêt met en communication le conduit principal de vapeur avec l'évacuation du cylindre admetteur; en ouvrant cette soupape, on introduit directement la vapeur dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, soit pour échauffer ces cylindres, soit pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche.

Les pompes à air sont horizontales et à double effet; le piston de chacune de ces pompes est conduit par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur correspondant. La tige de piston supérieure de chaque cylindre détendeur conduit une pompe alimentaire à piston plongeur et à simple effet. — Les pompes de cale, au nombre de deux, sont verticales à piston plongeur et à fourreau; elles sont placées à l'extrémité avant de la machine, au-dessous de l'arbre. Les bielles de ces pompes sont articulées aux deux extrémités d'un balancier horizontal, dont le centre d'oscillation est directement au-dessous de l'arbre; ce balancier porte en son milieu un cadre vertical dans lequel se meut un coulisseau porté par un bouton excentré qui termine l'extrémité avant de l'arbre moteur. — Les grandes pompes de cale qui, dans les nouveaux appareils, sont conduites directement par le piston du cylindre admetteur, n'existent pas sur ce type.

(Voir, pour les bâtiments pourvus des machines des types ci-dessus, ainsi que pour la régulation et les résultats des essais de ces machines, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 29_2 Description complète d'une machine Woolf, horizontale à hélice en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : type d'Indret. — Ce type, représenté en

Sect. 2, Pl. IV. *sect.* 2 *pl.* IV, diffère du précédent par le mode de condensation qui est ici par surface, avec un condenseur unique, et par quelques dispositions de détail dont il va être question. La légende adjointe à la *planche* IV donne d'ailleurs une description détaillée de tous les organes. — Les tiroirs, tout en conservant leurs fonctions de tiroirs en D, ont la forme rectangulaire et sont construits comme les tiroirs en coquille à dos percé ; ils portent une garniture de compensateur pour isoler la vapeur qui pénètre au cylindre par l'intérieur du tiroir, d'avec la vapeur qui évacue par les arêtes extérieures. — Les traverses de piston portent, du côté de l'arbre, un palier dont la partie inférieure se prolonge pour former le coulisseau de glissière ; ce coulisseau se meut entre deux glissières latérales à double équerre, qui le maintiennent en ligne droite et l'empêchent de se soulever lors de la marche en arrière ; il est garni d'antifriction sur ses trois parties frottantes. — Le pied des grandes bielles est à fourche et porte lui-même son tourillon, lequel est embrassé par le palier de la traverse. — Les chapeaux de presse-étoupe *t*, *fig.* 1 et 2, des tiges de piston, n'ont pas d'oreilles ; ils portent seulement un collet qui est poussé par un fort écrou cylindrique (n° 33_5) taraudé sur la partie extérieure de la boîte à étoupe. Cet écrou a son pourtour taillé en engrenage et peut être serré en marche, au moyen d'une vis sans fin dont l'axe vertical reçoit une clef de manœuvre. Dans les derniers appareils construits, ces presse-étoupe sont garnis de tresses auto-lubrifiantes (n° 33_5).

Il n'existe qu'un seul condenseur, *fig.* 3, placé en face du cylindre admetteur ; les conduits d'évacuation E', *fig.* 1, des cylindres détendeurs, se confondent en un seul E'', qui aboutit au sommet du condenseur. Comme ce dernier récipient est tout à fait indépendant des cylindres et qu'il est très-élevé, le conduit E'' porte une partie chaudronnée, formant tout autour un gros bourrelet très-élastique, et qui est destiné à remplacer un joint glissant par lequel il pourrait se produire des rentrées d'air. — Sur les bâtis horizontaux formant glissière, et contenant deux pompes à air et une pompe de circulation, *fig.* 3,

s'élèvent deux caisses rectangulaires : celle de l'avant forme le réservoir inférieur du condenseur et la bâche à eau douce; celle de l'arrière fait partie de la bâche de la pompe de circulation. Le condenseur est monté sur ces deux caisses rectangulaires; il contient trois faisceaux de tubes horizontaux. Les tubes sont rendus étanches au moyen de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires sont taraudés dans les plaques de tête (n° 48_8); ces tubes sont soutenus, sur le milieu de la longueur, par une cloison verticale qui partage le condenseur en deux compartiments ne communiquant que par leurs extrémités. Pour visiter les tubes et les presse-étoupe, il faut démonter les deux portes formant les coquilles N, et qui, une fois enlevées, laissent les plaques de tête à découvert. A son arrivée par le tuyau E″, la vapeur est divisée par la cloison verticale, qui l'oblige à se distribuer entre les deux compartiments du condenseur; dans chacun de ces compartiments, des demi-cloisons horizontales, placées entre les faisceaux tubulaires et alternées, obligent la vapeur à lécher tous les tubes. Les produits de la condensation s'écoulent de la partie inférieure des deux compartiments dans un réservoir commun D'*e*, d'où les deux pompes à air les enlèvent pour les rejeter dans les bâches B_a. Ces deux bâches sont en communication; elles possèdent un tuyau de décharge accidentelle qui débouche au-dessus du niveau de la mer, et qui est muni d'un clapet de retenue; l'air et l'excès d'eau s'échappent par ce tuyau.

Les deux pompes à air sont à double effet et du système dit à piston plongeur; la nervure qui partage la capacité totale de la pompe à air en deux parties égales porte une garniture en languettes de gaïac sur laquelle frotte le piston. Ces pistons de pompe à air sont conduits par un bras des tiges de piston inférieures du cylindre admetteur et du cylindre détendeur avant. Les clapets sont circulaires et en caoutchouc; le plan des clapets de bâche est horizontal et celui des clapets de condenseur vertical. Les clapets de bâche se visitent en ouvrant les portes qui sont figurées sur les côtés extérieurs de ces récipients. Pour visiter les clapets de condenseur, il faut pénétrer dans la chambre de la pompe à air, en enlevant les portes qui sont en abord, en face des pistons de ces pompes, et en démontant les couvercles. Quand les tubes sont étanches, les deux pompes à air sont très-puissantes pour extraire les fluides du condenseur; mais il peut arriver qu'en raison de la plus grande immersion de l'arrière du bâtiment, la pompe à air de l'avant soit désamorcée et ne fonctionne

plus. Pour remédier à cet inconvénient, on a rapporté dans la capacité D'_e une tôle s'élevant jusqu'aux clapets supérieurs du condenseur, et partageant cette capacité en deux parties égales; de cette façon, aucune des deux pompes à air ne peut se désamorcer.

La pompe de circulation P_r, *fig.* 3, est semblable aux pompes à air et agit par aspiration à travers les tubes du condenseur; son piston est conduit par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur arrière. L'eau froide arrive par le conduit A_r, monte dans la première coquille N, et parcourt successivement, mais en sens contraire, chacun des trois faisceaux de tubes, pour tomber ensuite dans le compartiment D'_r, d'où la pompe de circulation l'enlève pour la refouler à la mer à travers le tuyau de décharge D_r. La capacité S de la partie arrière du condenseur sert de réservoir d'air à la pompe de circulation. — Lorsque la partie supérieure du condenseur est située au-dessous du niveau de la mer, l'eau de circulation remplit naturellement tous les tubes; mais à cause de l'aspiration de la pompe et du retard qu'éprouve l'eau à suivre ce mouvement d'aspiration, il peut se former des chambres à air dans le sommet du faisceau tubulaire supérieur, de sorte que les tubes les plus élevés restent privés d'eau. Cet effet est surtout sensible lorsque le sommet du condenseur est plus élevé que le niveau de la mer. On fait disparaître cet inconvénient en évacuant l'air dans la chambre à vapeur du condenseur, au moyen des tuyaux I et des robinets l', l''; un tube de niveau, placé sur les coquilles supérieures, indique le moment où il faut ouvrir ces robinets. Le robinet l' est d'ailleurs à deux fins et permet d'évacuer l'air dans l'atmosphère pour qu'au départ la chambre à eau du condenseur se remplisse jusqu'au niveau de la mer.

Pour préparer le vide au moment de la mise en marche, et pour empêcher le condenseur de s'échauffer pendant les temps d'arrêt sous vapeur, on fait refouler le petit cheval dans la chambre à eau du condenseur par le tuyau i'; l'eau refoulée s'échappe à travers les clapets de la pompe de circulation, ou bien elle s'écoule à la cale en ouvrant le robinet du tuyau l, qui sert aussi à vider la chambre à eau du condenseur quand on est au mouillage. — Les robinets l', l'' peuvent servir à introduire de l'eau dans la chambre à vapeur du condenseur pour réparer les pertes; mais il existe pour remplir cet office un robinet spécial k, mû par une vis sans fin, et dont le tuyau k' permet de prendre l'eau de circulation par l'intermédiaire d'un robinet à deux fins k'_1. — Les matières grasses emportées du cylindre

par la vapeur qui évacue ces récipients finissent par former sur les tubes une enveloppe qui diminue leur conductibilité. Pour faire disparaître cet inconvénient, on a disposé un petit tuyau *i*, *fig.* 1 et 2, communiquant avec la prise de vapeur du petit cheval, et au moyen duquel on envoie un jet rapide de vapeur très-chaude dans le condenseur. Cette vapeur fond les graisses et les entraîne dans le réservoir inférieur.

Il n'existe qu'une pompe alimentaire dont le piston est conduit par un bras de la tige de piston supérieure du cylindre avant; cette pompe aspire dans la bâche à eau douce B_a; cette dernière porte un tube-jauge 6′, *fig.* 3, sur les indications duquel on se règle pour introduire de l'eau dans la chambre à vapeur du condenseur, pour réparer les pertes. Cette pompe alimentaire est à piston plongeur et à simple effet. — Une pompe de cale, également à piston plongeur et à simple effet, est placée de l'autre côté du condenseur; son piston est conduit par un bras de la tige de piston supérieure du cylindre avant. — Les purges des enveloppes des cylindres, celles des doubles fonds des couvercles, et enfin celles des cylindres eux-mêmes, aboutissent au condenseur par le robinet 3′; il y a d'ailleurs des robinets intermédiaires sur toutes ces purges particulières.

(Voir, pour les bâtiments pourvus des machines de ce type, pour la régulation de ces machines et les résultats des essais, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 29_3 Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : autres types d'Indret. — Les appareils récemment construits par l'usine d'Indret possèdent les deux condenseurs représentés en *sect.* 1, *pl.* IV, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée. — Ces deux condenseurs sont reportés aux extrémités des glissières pour laisser les traverses de piston à découvert. Les pieds de bielle sont simples et les traverses portent le tourillon. — Ces traverses reposent d'ailleurs sur un coulisseau formant double équerre, qui est guidé de la même manière que dans le type précédent, mais qui a une plus large portée. — Chaque condenseur a une pompe à air et une pompe de circulation à double effet; cette dernière agit par refoulement à travers les tubes du condenseur, et la cavité 8, *fig.* 2, lui sert de réservoir d'air. La partie déchirée dans la *fig.* 2 montre bien le chemin que suit l'eau froide pour aller de la

pompe de circulation à la coquille inférieure N, après avoir contourné la pompe à air. Une soupape de sûreté, placée sur le tuyau D_r, est destinée à fonctionner et à prévenir tout accident dans le cas où on aurait oublié d'ouvrir l'obturateur de décharge. — Le piston de la pompe de circulation est conduit par un bras d'une tige de piston spéciale du cylindre détendeur correspondant; cette tige passe dans un guide fixé à côté de la glissière et qui la maintient en ligne droite; on aperçoit ce guide autour de *b'*, *fig.* 2. — Les tuyaux d'évacuation E' aboutissent à un tuyau longitudinal E″, qui met les deux condenseurs en communication; ces tuyaux E' se prolongent jusqu'aux coquilles E‴ placées sur le milieu des faces des condenseurs situées du côté des cylindres. Les deux bâches B_a, *fig.* 1, de chaque condenseur, sont en communication et sont pourvues d'une décharge accidentelle D_e, *fig.* 2. — Les pompes alimentaires sont accolées aux condenseurs et leurs boîtes à clapet sont contre les bâches, en abord de ces récipients. La tige de piston inférieure de chaque cylindre détendeur conduit le piston de pompe à air et celui de la pompe alimentaire, au moyen d'un double bras monté sur cette tige de piston. — La tige de piston inférieure du cylindre admetteur conduit une forte pompe de cale P_c, logée en dessous de la glissière de ce cylindre. Cette pompe est à double effet et du système dit à piston plongeur; elle est destinée à faire face à une voie d'eau, et on la déclanche lorsqu'on ne veut pas la faire fonctionner.

L'usine d'*Indret* a aussi construit pour le *Richelieu*, frégate cuirassée de premier rang, d'une puissance nominale de 1,000 chevaux, un appareil moteur composé de deux machines Woolf, à trois cylindres horizontaux à bielle en retour, et commandant des hélices indépendantes. Dans chaque machine, les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes; les coudes des cylindres détendeurs forment entre eux un angle de 90° et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. Ces machines n'ont pas de plaque de fondation; les cylindres, les bâtis et les condenseurs reposent directement sur les carlingues. — Les cylindres détendeurs sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre admetteur; les vides des doubles fonds de cylindre sont mis en communication avec ces enveloppes; toutes les purges vont aux condenseurs. — Les bâtis ont exactement la forme de ceux des machines Dupuy de Lôme. — Les bielles sont simples aux deux extrémités et à palier; les coussinets

sont en bronze et garnis d'antifriction; ils forment eux-mêmes les corps de palier des pieds et des têtes de bielle. La traverse de piston, de forme ordinaire avec tourillon en son milieu, repose sur les deux branches verticales d'un coulisseau en forme d'U. La glissière est plane sans rebords; entre les branches du coulisseau se trouve une forte traverse en fer qui sert d'appui au coulisseau pour la marche arrière, et qui lui sert de guide pour la marche avant. Cette traverse est boulonnée sur deux tasseaux fixés aux extrémités de la glissière. Les chapeaux de presse-étoupe de tige de piston sont à vis (n° 33_8), et peuvent être serrés en marche. Les paliers milieu de l'arbre moteur sont remarquables par la largeur de leur portée; le serrage se fait horizontalement. Le coussinet du fond est cylindrique et peut être visité sans enlever l'arbre.

Deux registres qui ont un levier de manœuvre commun sont placés sur les côtés de la boîte à tiroir du cylindre admetteur, sur des tuyaux qui mettent en communication cette boîte avec les enveloppes des cylindres détendeurs. — Les distributeurs sont des tiroirs en coquille à dos percé, conduits directement par un arbre auxiliaire parallèle à l'arbre moteur. Le serrage de la garniture de chaque tiroir peut s'effectuer en marche, au moyen de quatre vis taraudées dans la boîte et traversant un petit presse-étoupe; chacune de ces vis est manœuvrée au moyen d'une rondelle molletée qu'elle porte à son extrémité supérieure. Deux grandes portes de visite sont placées sur l'avant et sur l'arrière de chaque boîte à tiroir, et un peu au-dessus de la tige; de sorte que les garnitures de tiroir peuvent être visitées avec facilité. — L'arbre auxiliaire des tiroirs est en trois parties, avec jonction par l'intermédiaire de petits tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre et solidement boulonnés entre eux. Cet arbre est supporté par six paliers. Chaque bâti intermédiaire porte deux de ces paliers entre lesquels se trouvent les petits tourteaux de jonction; Ces paliers sont d'ailleurs du même jet de fonte que les bâtis; le serrage est horizontal. La mise en train est du système Mazeline avec frein à griffes (n° 34_4). — Il n'existe pas d'organe de détente variable; l'introduction fixe, réglée par le tiroir du cylindre admetteur, a lieu pendant les 0,75 de la course du piston, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,375. — Une tubulure munie d'une soupape d'arrêt met en communication le conduit principal de vapeur avec l'évacuation du cylindre admetteur; en ouvrant cette soupape, on introduit directement

la vapeur dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, soit pour échauffer ces cylindres, soit pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche.

Les condenseurs, disposés dans chaque machine comme ceux de la *sect.* 1, *pl.* IV, sont placés en face des cylindres détendeurs, un peu sur l'avant et sur l'arrière, pour laisser les traverses de piston complétement à découvert. Les tubes sont horizontaux et en trois faisceaux que la vapeur contourne, et que l'eau de circulation traverse en sens contraire de la vapeur. Les condenseurs de la même machine ne sont pas en communication; ils sont reliés entre eux par deux forts tirants placés sur les côtés, et vers le sommet. — Les pompes à air et les pompes de circulation sont à double effet et du système dit à piston plongeur; ces pistons se meuvent dans une garniture de languettes de gaïac. Cette garniture est très-allongée, comparativement à ce qui s'est fait jusqu'à présent dans l'espèce; en arrivant à fin de course, les extrémités des pistons s'enfoncent dans le cylindre qu'elles forment. Le piston de chaque pompe à air est conduit directement par une tige spéciale du cylindre détendeur correspondant. Le piston de la pompe de circulation est conduit par un bras de la tige de piston supérieure du même cylindre. Les presse-étoupe de tige de piston de ces pompes sont doubles; le premier a la forme ordinaire et est serré par deux boulons; le second est fait sur le chapeau du premier, il est à vis, mais ne peut être serré en marche. Entre les deux presse-étoupe se trouve une cavité pour le graissage; cette cavité peut être mise en communication avec le tuyau de refoulement de la pompe de circulation, de manière à éviter toute rentrée d'air. — Les bâches à eau douce sont munies d'une décharge accidentelle avec clapet de retenue. Les condenseurs ont un reniflard. Sur la porte extérieure de chaque condenseur se trouve une soupape de sûreté communiquant avec la chambre à eau, et qui est destinée à prévenir tout accident en cas d'obstruction accidentelle du tuyau de décharge de la pompe de circulation.

Chaque machine possède une pompe alimentaire à simple effet et à piston plongeur; cette pompe est placée à côté et sur l'avant de la glissière du cylindre admetteur; son piston est conduit par un bras de la tige de piston supérieure de ce cylindre. — Le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire s'embranche sur un tuyau qui met en communication les deux bâches à eau douce de la même machine; ce dernier tuyau porte un robinet à ses deux extrémités, à sa jonction

même avec les bâches. Une communication spéciale entre la chambre à vapeur et la chambre à eau de chaque condenseur permet de réparer les pertes et d'entretenir dans les bâches à eau douce un niveau suffisant. — Un bras fixé sur la tige de piston inférieure de chaque cylindre admetteur conduit une grande pompe de cale à piston plongeur et à double effet, dont le tuyau de refoulement s'élève à côté et sur l'arrière de la glissière; ce tuyau est muni d'un clapet de retenue placé près de la muraille de bâtiment.

Ces machines sont alimentées par des chaudières réglementaires du type haut renforcé.

Puissance	nominale	1.000ᶜʰ
	indiquée	4.000ᶜʰ de 75ᵏᵐ
Introduction	cylindres admetteurs	0,75
	cylindres détendeurs	0,70
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,375
Pression absolue aux chaudières		3ᵃᵗ,25
Surface par cheval indiqué de 75ᵏᵐ sur les pistons	de grille	1ᵈᵐ·ᶜ,47
	de chauffe	0ᵐ·ᶜ,3720
	refroidissante	0ᵐ·ᶜ,1600

N° 30. — 1. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : types des chantiers et ateliers de l'Océan. — 2. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par mélange : type du Creusot. — 3. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : types des forges et chantiers de la Méditerranée. — 4. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — 5. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de Claparède. — 6. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de J. Watt et Cⁱᵉ.

N° 30₁ Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : types des chantiers et ateliers de l'Océan. — Les machines de ce type sont représentées en *sect.* 3, *pl.* I; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous les organes. — Les trois cylindres sont égaux et placés du même bord; le cylindre milieu reçoit seul directement la vapeur des chaudières, et à l'évacuation de ce cylindre cette vapeur se distribue dans les

Sect. 3, Pl. I.

deux autres, où elle travaille en se détendant; puis elle est évacuée aux condenseurs. Les cylindres détendeurs sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes; les coudes des cylindres détendeurs forment entre eux un angle de 90°, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. — Les distributeurs sont des tiroirs en coquille à dos percé, conduits directement par un arbre à trois coudes, parallèle à l'arbre moteur. Le mécanisme de renversement de marche est le système à train épicycloïdal, type Mazeline, muni du frein à griffe décrit au n° 34_1. Il n'existe pas d'organe de détente variable; l'introduction fixe est de 0,88 pour le cylindre admetteur et de 0,78 pour les cylindres détendeurs. L'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, est de 0,44.

Les registres de vapeur *v*, *fig.* 3, sont à l'entrée des enveloppes des cylindres détendeurs; ces registres ont un levier de manœuvre commun. La table du cylindre admetteur porte sur les côtés, et en dehors de son tiroir, deux grands orifices rectangulaires qui, étant prolongés horizontalement par les conduits V_4, mettent la boîte à tiroir du cylindre admetteur en communication avec les enveloppes des cylindres détendeurs. Pour faciliter le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche, on introduit directement la vapeur dans le conduit d'évacuation du cylindre admetteur, au moyen de la petite soupape d'arrêt *v'*, qui fait communiquer ce conduit d'évacuation avec le conduit principal de vapeur.

Toutes les autres parties de l'appareil moteur ont exactement la forme, la disposition et jusqu'aux dimensions adoptées dans le type à trois cylindres indépendants de même puissance, décrits au n° 25_1 et représentés en *sect.* 2 de la même planche; les lettres et les chiffres de ces deux sections correspondent aux mêmes organes. — Ajoutons cependant que, dans les appareils récemment construits, le massif qui forme la partie inférieure de la glissière du cylindre admetteur renferme une grande pompe de cale à double effet et du système dit à piston plongeur; cette pompe est conduite par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre admetteur.

Antérieurement au type que nous venons de décrire, l'usine des *chantiers et ateliers de l'Océan* a fourni plusieurs machines Woolf, à trois cylindres horizontaux à bielle en retour, dont les pistons agissent

sur des coudes calés à 120 degrés. Le plus important de ces appareils est celui de la frégate cuirassée *la Magnanime*, d'une puissance nominale de 900 chevaux de 300^{km}, et qui ne diffère de celui du type décrit ci-dessus que par l'absence d'enveloppes aux cylindres détendeurs.

(Voir, pour les bâtiments pourvus de ces appareils, la légende de la Pl. I, sect. 3, et pour la régulation des machines et les résultats des essais, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 30_2 Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par mélange : type du Creusot. — Ce type est représenté en *sect.* 2, *pl.* III, et la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous ses organes. — Les trois cylindres sont égaux et placés du même bord. Le cylindre milieu reçoit seul directement la vapeur des chaudières, et à l'évacuation de ce cylindre cette vapeur se distribue dans les deux autres, où elle travaille en se détendant. Les cylindres détendeurs sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes; les coudes des cylindres détendeurs forment entre eux un angle de 90°, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. — A son entrée dans les enveloppes des cylindres détendeurs, la vapeur franchit les soupapes d'arrêt v_1, *fig.* 2; mais son affluence dans le cylindre admetteur est réglée par les papillons v, qui ont un levier de manœuvre commun. — Les distributeurs sont des tiroirs en D, conduits directement par un arbre à trois coudes parallèle à l'arbre moteur; cet arbre des tiroirs est en trois parties reliées par de petits tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre, mais il n'est supporté que par quatre paliers, comme l'arbre moteur. Les pieds des bielles de tiroir sont à fourche; chaque traverse est maintenue entre deux glissières rapportées sur la porte de la boîte à tiroir. — Le mécanisme de renversement de marche est du système Mazeline avec frein à griffes (n° 34_4). — Il n'existe pas d'organe de détente variable. La vapeur est introduite dans le cylindre admetteur pendant les 0,88 de la course de son piston; l'introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, est de 0,44. — Une petite soupape v', placée sur un tuyau qui met en communication le conduit principal de vapeur et le conduit d'évacuation du cylindre admet- Sect. 2, P. III.

teur, permet d'introduire directement dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche. — Les cylindres reposent sur une plaque de fondation; les bâtis et les condenseurs reposent directement sur les carlingues. Les bâtis sont pleins et à nervures; ils forment les corps de palier de l'arbre moteur; ces paliers sont du système propre au *Creusot*, et leur serrage s'effectue horizontalement. Au-dessus des bâtis de l'arbre moteur se placent des bâtis triangulaires ouverts à leur base pour permettre de visiter les paliers de l'arbre moteur, et portant à leur sommet les paliers de l'arbre des tiroirs; ces petits paliers sont de même forme que ceux de l'arbre moteur.

Deux condenseurs ordinaires sont placés en face des cylindres détendeurs; ils sont reliés entre eux par une forte pièce creuse en fonte, façonnée pour servir de glissière au cylindre admetteur; cette pièce est d'ailleurs fixée sur les carlingues. Les condenseurs proprement dits sont séparés des bâches par l'emplacement des glissières des cylindres détendeurs, les condenseurs occupant le côté en dedans et les bâches le côté en dehors. Ces deux récipients sont reliés à leur sommet par une arcade qui fait partie du condenseur, et au milieu de laquelle débouche le conduit d'évacuation; cette arcade ne recouvre la traverse du piston que sur un peu moins d'un tiers de son parcours. — Les glissières des traverses de piston sont doubles; la partie supérieure de ces glissières est rapportée. — Les pompes à air sont à double effet du système dit à piston plongeur; une nervure médiane partage en deux parties égales la capacité totale de la pompe à air, et porte une garniture qui embrasse le cylindre allongé qui forme piston. Les pistons de pompe à air sont conduits par un bras des tiges de piston inférieures des cylindres détendeurs. Tous les clapets sont circulaires et en caoutchouc; les clapets de bâche sont horizontaux. Les clapets de condenseur sont en deux plans : l'un horizontal, plus spécialement destiné à l'introduction de l'eau; l'autre vertical et plus élevé, destiné à faciliter le passage des gaz du condenseur dans la pompe. — Les pompes alimentaires sont situées sur l'avant de la machine; elles sont à piston plongeur et à simple effet; les cylindres sont inclinés et les pistons sont conduits par un bouton excentré de l'extrémité de l'arbre moteur. — Un bras de la tige de piston inférieure du cylindre admetteur conduit une grande pompe de cale P'_c, dont on voit les clapets de refoulement sur la *fig.* 2, et qui est destinée à faire face à une voie

d'eau. Cette pompe est logée dans le massif qui relie les deux condenseurs et qui sert de glissière à la traverse du piston du cylindre admetteur.

(Voir, pour les bâtiments pourvus des machines de ce type, la légende Pl. III, sect. 2.)

N° 30_3 Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° ou à 120° (à hélice), avec condensation par mélange : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — Les machines de ce type, qui sont représentées en *sect.* 3, *pl.* III, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, diffèrent peu des machines du type à trois cylindres indépendants de la même usine (n° 25_2). — Les trois cylindres sont égaux et placés du même bord ; le cylindre milieu reçoit seul directement la vapeur des chaudières, et à l'évacuation de ce cylindre, cette vapeur se distribue dans les deux autres, où elle travaille en se détendant. Les cylindres détendeurs sont pourvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe pour arriver à la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Les pistons agissent sur un même arbre à trois coudes ; les coudes des cylindres détendeurs forment entre eux un angle de 90°, et le coude du cylindre admetteur est à l'opposé de la bissectrice de cet angle. — A sa sortie des chemises des cylindres détendeurs, la vapeur suit les tuyaux recourbés V_1, *fig.* 4, qui l'amènent, de chaque côté, dans la boîte à tiroir du cylindre admetteur ; au point de jonction de ces tuyaux avec la boîte à tiroir se trouvent les vannes registres *v*, qui ont un levier de manœuvre commun. — Les distributeurs sont des tiroirs en D long ; chacun d'eux est conduit par deux excentriques à bielle renversée, montés sur un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur. La glissière étant sur le dos du condenseur, la tige porte une prolonge en forme de cadre qui embrasse l'arbre. Les barrettes des tiroirs sont garnies d'antifriction, et la table de frottement est rapportée sur les cylindres ; cette dernière disposition offre une grande facilité pour dresser la table du cylindre lorsqu'elle est usée, et ne pourrait présenter des inconvénients que si la pièce rapportée n'était pas d'un métal de même dilatation que celui du cylindre, car il se produirait alors des gauchissements occasionnés par les dilatations inégales des deux métaux en contact. Les tiroirs des cylindres détendeurs ont des garnitures ordinaires ; celui du cylindre admetteur possède des garnitures mé-

Sect. 3, Pl. III.

talliques (n° 34_1). — Le mécanisme de renversement de marche est du système Mazeline, avec frein à griffes (n° 34_4). — Il n'existe pas d'organe de détente variable. La vapeur est introduite dans le cylindre admetteur pendant les 0,88 de la course de son piston, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,44. — Les pistons n'ont qu'une seule bague antifrictionnée, et reposent sur cette bague par l'intermédiaire de deux talons qu'elle porte à sa partie inférieure. Cette bague est fendue dans le haut, et l'écartement des deux parties est opéré par un système de serrage (n° 33_1) qui présente les dispositions suivantes : une traverse, en forme d'U, porte, dans deux petits paliers formés par ses branches, un boulon dont les extrémités taraudées avec des pas contraires ont pour écrous des mâchoires qui embrassent chacune un ressort parabolique. De chaque côté, ce ressort appuie sur un ressort semblable qui lui est opposé, et qui est encastré par son milieu dans un talon que porte la bague. Le boulon précité porte, entre les deux branches de son support, une vis sans fin dont l'axe, appuyé sur le piston et sur la couronne, est parallèle à celui du cylindre. C'est en agissant sur cette vis au moyen d'une clef, qu'on opère le serrage ; les deux ressorts de chaque côté conservent à la garniture l'élasticité nécessaire. Six ressorts paraboliques répartis autour du piston achèvent d'appliquer la bague contre la paroi du cylindre.

Les cylindres et les bâtis sont sur une plaque de fondation ; les condenseurs reposent directement sur les carlingues et restent indépendants des bâtis. Ces derniers ont exactement la forme adoptée par les *forges et chantiers* pour les machines à deux cylindres ; le serrage des paliers de l'arbre moteur se fait horizontalement, et celui des paliers de l'arbre des tiroirs verticalement. — Les condenseurs, placés en face des cylindres détendeurs, ont conservé leur ancienne forme ; il en est de même des glissières. Ces condenseurs sont reliés entre eux, à la base, par une forte pièce creuse en fonte dont la partie supérieure est façonnée pour former le bas de la glissière du cylindre admetteur ; ils sont reliés, par une autre pièce en fonte, évidée et à nervures, qui forme la partie supérieure de ladite glissière, et qui porte, sur sa face supérieure, les deux glissières de tiroir du cylindre admetteur. — Les pompes à air et les pompes alimentaires occupent leur ancienne place dans les condenseurs, et ont conservé leur forme ; mais les clapets de bâche sont

abaissés, ce qui a eu pour effet d'augmenter le réservoir d'air; le plan des clapets d'aspiration est légèrement incliné, la partie haute vers la pompe; les clapets s'ouvrent de haut en bas. Les clapets de bâche sont rectangulaires et en caoutchouc; les clapets de condenseur sont circulaires. Les pistons des pompes à air sont pleins et sans garniture; ils sont conduits par les tiges de piston inférieures des cylindres détendeurs, au moyen de bras. — Les pistons plongeurs des pompes alimentaires sont conduits par les tiges supérieures des mêmes pistons moteurs. — Les pompes de cale sont sur l'avant; elles sont à simple effet et à piston plongeur formant fourreau. Les cylindres de ces pompes sont inclinés et leurs pistons sont conduits par un bouton excentré qui termine l'arbre moteur. — Sous la glissière du cylindre admetteur se trouve une grande pompe de cale P'_c, *fig.* 3, dont le piston est conduit par une tige de piston spéciale du cylindre admetteur; cette pompe est à piston plongeur et à double effet; elle peut être déclanchée.

Le type qui nous occupe est dérivé de celui que la même usine a construit pour la frégate cuirassée *la Savoie*, et dans lequel les trois coudes de l'arbre forment entre eux des angles égaux de 120°; de plus, en sortant du cylindre admetteur, la vapeur évacuait dans un réservoir cylindrique en tôle, d'un volume double de celui d'un des cylindres, et dans lequel les cylindres détendeurs prenaient leur vapeur. Ce réservoir a été supprimé. L'appareil moteur de la *Savoie*, qui est d'une puissance nominale de 900 chevaux de 300^{km}, présente exactement les mêmes dispositions, sauf l'absence des organes de détente, que l'appareil à trois cylindres indépendants de la *Revanche* (n° 25_2).

(Voir, pour les bâtiments pourvus d'appareils de ce type, la légende Pl. III, sect. 3, et pour la régulation des machines et les résultats des essais, les tableaux A, C et C *suite*.)

N° 30_4 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a produit un nouveau type de machines Woolf, à 3 cylindres horizontaux et à condensation par surface, monté sur la corvette rapide *le Seignelay*. — La pression absolue aux chaudières est de $4^{at},8$. — Les trois pistons ont même course, mais le diamètre du cylindre d'introduction directe est plus

petit que celui des cylindres détendeurs. Les pistons de ces deux derniers cylindres ont deux tiges embrassant l'arbre, comme dans les machines ordinaires à bielle en retour; les traverses n'ont qu'une seule glissière inférieure qui repose sur les réservoirs des bâches. — A cause de son faible diamètre, le piston du cylindre admetteur n'a qu'une seule tige; mais cette tige porte à son extrémité, entre le cylindre et l'arbre, une traverse inclinée sur laquelle viennent prendre deux prolonges qui embrassent l'arbre, et vont se fixer sur une traverse semblable à celles des cylindres détendeurs. Pour que la première traverse de piston ait sa course libre entre l'arbre et le cylindre admetteur, ce dernier est en retrait de $0^m,420$ sur le plan des collerettes intérieures des cylindres de détente. Les trois cylindres sont donc à bielle en retour. — Les enveloppes des cylindres, ainsi que les vides des fonds et des couvercles, communiquent directement avec le tuyau de vapeur, et se purgent au condenseur.

Les tiroirs sont en coquille, à double orifice et à dos percé avec compensateur; ils sont conduits directement par des excentriques montés sur un arbre spécial. Les cadres des compensateurs sont entraînés par les tiroirs; ils frottent contre le dos de la boîte. Les presse-garnitures sont repoussés par des ressorts qui appuient contre le tiroir lui-même. Le tiroir du cylindre admetteur a des garnitures métalliques. — L'introduction fixe est de 0,66 dans les trois cylindres. Un organe de détente variable, type Dupuy de Lôme, conduit par des excentriques à calage variable montés sur l'arbre des tiroirs, permet trois nouveaux degrés d'introduction dans le cylindre admetteur : 0,5, 0,4, 0,3 de la course du piston. Cet organe de détente ne se déclanche pas; on suspend ses fonctions par l'ouverture d'une soupape qui met directement en communication le tuyau d'arrivée de vapeur avec la boîte à tiroir. — Une soupape, semblable aux soupapes de communication des chaudières, est placée dans l'intérieur de la boîte à tiroir du cylindre admetteur, et permet d'introduire directement la vapeur dans le conduit d'évacuation de ce cylindre, pour assurer le balancement et la mise en marche de l'appareil.

Les presse-étoupe des tiges de piston sont disposés comme dans le dernier type d'*Indret* décrit au n° 33_1. En avant du presse-étoupe principal se trouve un deuxième presse-étoupe destiné à maintenir le suif de graissage. Pour les cylindres détendeurs, la garniture du presse-étoupe emprisonne, vers son milieu, une boîte qui est en communication constante avec la vapeur qui réchauffe les couvercles;

de cette façon, il ne peut jamais se produire de rentrées d'air autour des tiges. Cette disposition n'existe pas pour le cylindre admetteur. Le piston de ce dernier cylindre a une contre-tige.

Les tubes du condenseur sont horizontaux et en deux faisceaux; ces tubes sont fixés sur les plaques de tête par de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires sont taraudés dans ces plaques (n° 48_4). La vapeur entoure les tubes et l'eau froide passe dans l'intérieur; les deux fluides marchent en sens contraire. Un robinet d'injection directe permet d'introduire l'eau de la mer dans le condenseur pour réparer les pertes. — La pompe à air et la pompe de circulation sont à piston plongeur et à double effet; elles sont conduites directement par les tiges de piston des cylindres détendeurs au moyen de bras montés sur ces tiges. La pompe de circulation agit par refoulement. Le réservoir d'eau douce a une décharge accidentelle. — Les pompes de cale et les pompes alimentaires, au nombre de deux par espèce, sont à piston plongeur et à simple effet; elles sont également conduites par les tiges de piston des cylindres détendeurs.

Les chaudières sont cylindriques, tubulaires et à retour de flamme; les boîtes à feu et les boîtes à fumée sont rapportées. Les foyers, également cylindriques, sont en deux pièces avec jonction sur le milieu de leur longueur.

Puissance	nominale	450^{ch}
	indiquée	1.800^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières		$4^{at},8$
Introduction	cylindre admetteur	0,66 à 0,30
	cylindres détendeurs	0,66
	effective, comparativement à une machine à détente simple. 0,217, variable jusqu'à	0,07
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},30$
	de chauffe	$0^{m.c},3333$
	refroidissante	$0^{m.c},1625$

(Voir, pour les dimensions et les résultats des essais, les tableaux C et C *suite*.)

N° 30_5 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de Claparède. — L'usine *Claparède et Cie* a construit quelques machines Woolf pour des canonnières françaises. Le type comporte deux cylindres Woolf horizontaux, le cylindre admetteur sur l'avant; ces cylindres reposent directement sur les carlingues. Chacun de ces organes est formé d'un cylindre intérieur dans lequel se meut le

piston, et sur lequel est ajusté un autre cylindre, avec portage aux extrémités seulement, pour former chemise de vapeur, et qui porte les tables de frottement des tiroirs. La vapeur est introduite dans ces chemises au moyen d'une soupape qui les met en communication avec la boîte à tiroir du cylindre admetteur, et qui est placée sur l'avant, au bas de ce cylindre. De plus, le cylindre admetteur et une partie du cylindre détendeur sont entourés d'une capacité de forme assez irrégulière, formant réservoir entre les deux cylindres, et dans lequel le cylindre admetteur évacue. Une soupape de sûreté est placée sur ce réservoir. Toutes les purges aboutissent au condenseur. — La transmission de mouvement du piston à l'arbre de couche est à bielle en retour. Les presse-étoupe des tiges de piston sont à vis (n° 33_8) et peuvent être serrés en marche. Les grandes bielles sont simples et à palier. Chaque glissière est formée par une forte barre de fer rectangulaire, rapportée sur des talons de la partie inférieure du condenseur; cette glissière est embrassée par le coulisseau, avec interposition d'un coussinet en bronze. L'arbre de couche, d'un seul morceau, a deux vilebrequins calés à 90°, dont les manivelles sont équilibrées; il est porté par trois paliers dans les coussinets de chacun desquels sont logés deux collets de l'arbre.

Les tiroirs sont en coquille à double orifice avec compensateur. Ils sont placés verticalement à l'avant et à l'arrière de la machine. Ces tiroirs ont deux tiges qui embrassent l'arbre, et qui viennent se fixer, de l'autre côté, sur une traverse commune, dans le genre des machines du Creusot (n° 124_1 du *Grand Traité*). Ces tiroirs sont conduits par des secteurs dont les excentriques ont leurs bielles en retour. Le changement de suspension s'effectue au moyen d'un arbre de relevage commun, actionné par un secteur denté, une vis sans fin, une paire d'engrenages coniques et un volant. Il n'existe pas d'organe de détente variable; mais le point d'attache de la bielle de suspension du cylindre admetteur est mobile à l'extrémité du levier qui la porte, ce qui permet de changer l'introduction de ce cylindre sans modifier celle du cylindre détendeur. Ce changement de suspension s'opère au moyen d'un coulisseau engagé dans une rainure du levier, et actionné par une vis. Pour la mise en marche, la vapeur est introduite directement dans le réservoir au moyen d'une soupape qui fait communiquer ce réservoir avec le tuyau de vapeur. On introduit également la vapeur dans les orifices des deux cylindres, au moyen de robinets à deux voies qui ont remplacé les robinets des indica-

teurs, mais qui sont plus grands que ces derniers. Cette disposition est motivée par la faible introduction maximum qui ne dépasse pas 0,50 dans les deux cylindres.

Un condenseur tubulaire, de forme cylindrique, est placé à bâbord, en face des cylindres moteurs, au-dessus des traverses de piston. Les tubes sont horizontaux et parallèles à l'arbre; ils forment trois groupes que la vapeur contourne, et que l'eau de circulation parcourt à l'intérieur. A chaque bout du condenseur, les tubes traversent une plaque de tête en bronze, puis une plaque de caoutchouc serrée sur la première par une deuxième plaque en bronze. Ce mode de fixation des tubes est très-commode pour leur démontage. Le condenseur est d'ailleurs installé pour fonctionner par mélange, c'est-à-dire qu'il existe une injection directe assez forte. La pompe à air est horizontale, du système à piston plongeur et à double effet; la tige de son piston est conduite par une crosse fixée à la tige de piston inférieure du cylindre admetteur. La bâche à eau douce est placée au-dessous du condenseur, entre les deux traverses des pistons moteurs. La pompe de circulation est à action centrifuge; elle est conduite par un cylindre à vapeur spécial, avec transmission par engrenage. Cette pompe n'a été installée qu'après coup, et les bâtis du condenseur du côté arrière présentent une forme symétrique de ceux de l'avant, avec logement pour une pompe de circulation à double effet, que devait conduire la tige de piston inférieure du cylindre détendeur. Ce logement a été annexé à la bâche à eau douce.

Deux pompes alimentaires et une pompe de cale sont placées sur l'avant des machines, et sont commandées par des boutons excentrés du bout de l'arbre. Toutes ces pompes sont à piston plongeur et à fourreau. La pompe de cale est directement au-dessous de l'arbre; les pompes alimentaires ont leurs cylindres inclinés sur tribord et accolés au cylindre admetteur.

La vapeur est fournie par des chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme. L'alimentation est assurée pendant les arrêts au moyen d'un petit cheval, système Behrens (n° 64.), qui puise dans la bâche à eau douce, ou bien dans un réservoir auquel aboutit la décharge accidentelle.

Ce type de machines est bien dégagé et suffisamment accessible; mais la manœuvre est très-délicate en raison de la faible introduction normale dans les cylindres.

On rencontre des machines de ce type sur les bâtiments suivants :

Crocodile, canonnière de		400ch de 75km
La *Bourdonnais*, canonnière de		700ch de 75km
Bisson, canonnière de		700ch de 75km
Introduction moyenne à tous les cylindres		0,50
Introduction effective, comparativement à une machine à détente simple		0,20
Pression absolue aux chaudières		5kg,00
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	1dm.c,10
	de chauffe	0m.c,3000
	refroidissante	0m.c,2200

N° 30_6 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90° (à hélice), avec condensation par surface : type de J. Watt et Cie. — MM. *J. Watt et Cie* ont fourni à la marine militaire anglaise une machine Woolf à deux cylindres horizontaux côte à côte, dont les pistons agissent sur deux coudes calés à 90°. Ces cylindres sont munis de chemises de vapeur. Les tiroirs en coquille et à compensateur sont placés sur les côtés des cylindres; leur partie inférieure glisse sur des galets en acier qui ont pour effet de diminuer le frottement dû au poids du tiroir. Ces distributeurs sont conduits par des secteurs Stephenson. — Le condenseur à surface est placé à tribord. Toutes les pompes sont à piston plongeur. La pompe à air et les deux pompes alimentaires sont conduites par l'une des tiges de piston du cylindre détendeur. La pompe de circulation et la pompe de cale reçoivent le mouvement d'une des tiges de piston du cylindre admetteur. Cet appareil a été monté sur la corvette anglaise *la Coquette*.

Puissance indiquée		405ch de 75km
Introduction effective, comparativemt à une machine à détente simple, environ		0,2
Pression absolue aux chaudières		5at,00
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille	1dm.c,03
	de chauffe	0m.c,2850
	refroidissante	0m.c,1980

N° 31. — 1. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types d'Indret et du Creusot. — 2. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à quatre paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — 3. Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant et de Laird de Birkenhead. — 4. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Maudslay. — 5. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux paires de cylindres l'un sur l'autre points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Wymer. — 6. Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux cylindres simples ayant deux pistons à demi-fourreau (à hélice), avec condensation par surface : type de Rennie. — 7. Machine double Woolf, horizontale à bielle directe à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 90° (à deux hélices), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée (annexe du Havre). — 8. Machine double Woolf, horizontale à bielle directe à deux paires de cylindres l'un dans l'autre points morts communs (à deux hélices), avec condensation par surface : type de Dudgeon. — 9. Machine

Woolf, horizontale à fourreau à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180° (à hélice), avec condensation par surface : type de Turner.

N° 31_1 Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types d'Indret et du Creusot.

Type d'Indret. — L'appareil moteur construit à *Indret* pour le croiseur de première classe *le Duquesne* comporte trois groupes de machines Woolf horizontales à bielle en retour. Chaque groupe est formé d'un cylindre admetteur et d'un cylindre détendeur placés bout à bout, sur un axe commun, le cylindre admetteur en abord. Ces cylindres sont munis d'enveloppes qui reçoivent directement la vapeur des chaudières ; la vapeur est aussi introduite dans les vides des fonds et des couvercles ; toutes les purges aboutissent aux condenseurs. Les deux pistons sont reliés par une tige commune placée dans l'axe des cylindres, et ces derniers sont suffisamment espacés pour que cette tige ait un presse-étoupe extérieur sur le fond de chacun d'eux. Le piston du cylindre détendeur porte, en outre, deux tiges disposées comme dans les machines à bielle en retour et qui viennent se relier à la traverse, de l'autre côté de l'arbre moteur. Cet arbre est en trois parties reliées par des tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre et solidement boulonnés entre eux ; il est porté par quatre paliers. Les cylindres et les bâtis de l'arbre reposent sur de fortes carlingues en fer qui se jonctionnent sur les condenseurs, du bord opposé aux cylindres. Toute la transmission de mouvement est semblable à celle du type des machines Woolf à trois cylindres de la même usine (n° 29_3). Les trois coudes de l'arbre moteur sont calés à 120°.

Les tiroirs, placés sur le dos des cylindres, sont conduits par des coudes d'un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur. Cet arbre spécial est en trois parties reliées par des tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre et boulonnés entre eux ; il est supporté par quatre paliers qui correspondent à ceux de l'arbre moteur. Le distributeur de chaque cylindre détendeur est formé de deux tiroirs en coquille à dos percé, marchant parallèlement et fonctionnant séparément, chacun sur un jeu complet d'orifices. Ces tiroirs sont dans une boîte commune, et la tige de chacun d'eux est actionnée directement par une bielle articulée sur un coude de l'arbre des tiroirs, placé en face de cette tige. Les deux coudes des tiroirs du même cylindre sont

dans le même plan, de sorte que les tiroirs se meuvent rigoureusement en même temps. Ils sont d'ailleurs reliés par une entretoise dont la partie inférieure porte, en son milieu, une douille sur laquelle se fixe la tige de tiroir du cylindre admetteur correspondant ; cette tige passe très-près de la table du cylindre détendeur et en contrebas de l'axe de l'arbre des tiroirs, ce qui a permis de réduire d'une manière notable le volume des espaces neutres dans les orifices du cylindre admetteur. Il résulte de cette disposition que les tiroirs des deux cylindres conjugués ont exactement la même marche, et que l'introduction doit être la même pour les deux cylindres. — Pour le cylindre admetteur, le distributeur est un tiroir en coquille, avec orifices pour une détente *Meyer* placée sur son dos. Cet organe de détente est conduit par un coude de l'arbre des tiroirs placé juste en face de l'axe de la boîte à tiroir du cylindre détendeur ; la tige de l'organe de détente traverse cette boîte, en passant entre les deux tiroirs et en dessus de la tige de tiroir du cylindre admetteur. — Tous les distributeurs sont réglés pour une introduction fixe de 0,80 ; mais l'organe de détente ne permet qu'une introduction maximum de 0,78 dans le cylindre admetteur. L'introduction peut être réduite, dans ce cylindre, jusqu'à 0,16 de la course. Le mécanisme de renversement de marche est du système Mazeline. Le décalage de l'arbre des tiroirs s'opère par le moyen d'un moteur à vapeur (n° 34_6) à deux cylindres inclinés droits, agissant sur le coude unique d'un arbre commun et actionnant l'arbre des tiroirs par l'intermédiaire d'une chaîne Gall et d'une poulie folle ; cette dernière peut être embrayée à volonté avec le volant de la mise en train.

L'appareil moteur ne possède que deux condenseurs tubulaires pour les trois groupes de machines ; ils sont placés en face des groupes extrêmes, et sont reliés aux carlingues en fer qui servent de plaques de fondation aux machines ; ils laissent entre eux un passage libre qui permet l'accès aux paliers milieux de l'arbre moteur. L'intervalle qui sépare les deux condenseurs est d'ailleurs nécessaire pour le démontage des portes de visite des tubes. Ces condenseurs sont complétement en dessous du faux-pont, comme tout le reste de l'appareil moteur ; ils ont, par suite, une hauteur relativement faible, mais ils sont très-allongés ; les extrémités, sur l'avant et sur l'arrière de la machine, sont en porte-à-faux et reposent sur de petites colonnes en fer. Les condenseurs sont en communication à leur partie supérieure, par l'intermédiaire du conduit d'évacuation

de la machine milieu, qui se bifurque pour que la vapeur du cylindre détendeur de cette machine se partage entre les deux condenseurs. — Les tubes sont horizontaux et ne forment qu'un seul faisceau que la vapeur contourne et que l'eau froide traverse; mais à chaque plaque correspondent deux portes de visite, ce qui rend le démontage de ces portes beaucoup plus facile. — Chaque condenseur est muni d'une pompe à air à double effet; le piston de cette pompe est conduit par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur du groupe extrême correspondant. — L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes par deux pompes centrifuges, une par condenseur, placées en abord et actionnées par une petite machine auxiliaire à pilon à deux cylindres, dont l'arbre est l'axe même des pompes centrifuges. Chacune de ces pompes possède une prise d'eau spéciale pour aspirer à la cale en cas de voie d'eau.

Les pompes alimentaires, au nombre de deux, sont situées vis-à-vis les groupes extrêmes et dans la partie basse de l'entretoise qui sert de guide à la traverse de la grande bielle. Ces pompes sont mues directement par une tige de piston spéciale du cylindre détendeur correspondant. Les tuyaux d'aspiration des pompes alimentaires communiquent avec les bâches à eau douce des deux condenseurs. — Deux pompes de cale à double effet sont placées en face du groupe milieu des cylindres; elles sont noyées dans l'entretoise qui sert de guide à la traverse de la grande bielle de ce groupe. Le piston de l'une des deux pompes est conduit par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur; le piston de l'autre pompe est conduit directement par une tige de piston spéciale de ce cylindre.

L'appareil évaporatoire se compose de 12 chaudières à 4 foyers du type haut renforcé (n° 60_1), formant deux groupes distincts, ayant chacun une cheminée, avec chaufferie longitudinale. L'alimentation est assurée pendant les temps d'arrêt par quatre pompes rotatives à vapeur, système Behrens, placées à la hauteur du parquet supérieur de la machine, et accolées aux soutes à charbon qui séparent l'appareil moteur de la chaufferie.

Puissance	nominale	1.800^{ch} de 300^{km}
	indiquée prévue	7.200^{ch} de 75^{km}
Introductions fixes	cylindres admetteurs	0,78
	cylindres détendeurs	0,80
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,40

Introduction minimum par l'organe de détente	cylindres admetteurs	0,16
	effective correspondante, comparativement à une machine à détente simple	0,09
Pression absolue aux chaudières		$3^{at},25$
Surface par cheval indiqué prévu de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},23$
	de chauffe	$0^{m.c},3036$
	refroidissante	$0^{m.c},1759$

On rencontre encore des machines de ce type sur les bâtiments suivants :

Dugay-Trouin, croiseur de 900^{ch}, ayant réalisé 3.700^{ch} de 75^{km}. — Les chaudières sont du type haut renforcé comprenant 34 foyers. Pression absolue $=3^{at},15$.
Rigault de Genouilly, croiseur de 450^{ch} de 300^{km}.
Tempête, garde-côte cuirassé de 375^{ch} de 300^{km}.
Les chaudières de ces deux derniers bâtiments sont cylindriques (n° 60_2) et fonctionnent à une pression absolue de 5^{at}. Elles sont au nombre de 4 du type haut, comprenant 8 foyers pour le *Rigault de Genouilly*, et au nombre de 6 du type bas, comprenant 12 foyers, pour la *Tempête*.

Type du Creusot. — L'appareil moteur construit au *Creusot* pour le cuirassé de premier rang *le Redoutable* comporte, comme celui du *Duquesne*, trois paires de cylindres Woolf, horizontaux, placés bout à bout avec points morts communs, les petits cylindres en abord. Ces cylindres, ainsi que les bâtis, reposent sur une plaque de fondation formée de trois parties jonctionnées ensemble, et qui s'étend jusqu'aux condenseurs. Cette plaque présente de nombreux évidements formant une sorte de grillage; elle est renforcée aux parties qui doivent supporter les plus forts poids. Chacun de ces cylindres est muni d'une enveloppe dans laquelle est introduite de la vapeur venant des chaudières; la vapeur est également introduite dans les fonds et dans les couvercles des cylindres détendeurs. — Chaque paire de cylindres est isolée de la paire voisine par un intervalle relativement considérable, environ un demi-diamètre des grands cylindres. Le piston de chaque cylindre admetteur est réuni au piston du cylindre détendeur correspondant par une seule tige placée dans l'axe, et les deux cylindres conjugués sont suffisamment espacés pour que les fonds en regard soient munis chacun d'un presse-étoupe extérieur, dans lequel passe la tige commune. — Les pistons des cylindres détendeurs ont deux tiges qui embrassent l'arbre et se joignent, du côté opposé, sur une traverse en Z dont la glissière est semblable à celle qui est représentée en *sect.* 2, *pl.* III. Les presse-étoupe de ces tiges sont à vis (n° 33_8) et peuvent être serrés en marche avec facilité. La bielle est en retour. — L'arbre moteur est en trois parties, portant chacune un coude; ces parties sont reliées par des

tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbre et fortement boulonnés entre eux. Cet arbre est supporté par six grands paliers dont le serrage se fait horizontalement. Les trois coudes sont calés à 120°.

Les tiroirs sont en coquille à double orifice, avec compensateur pour les cylindres admetteurs, et presseur à ressorts pour les cylindres détendeurs, ils sont placés sur le côté avant des cylindres, comme dans les machines à bielle directe du Creusot. — Pour chaque cylindre détendeur, le distributeur est double; c'est-à-dire qu'il y a deux tiroirs placés côte à côte, l'un au-dessus de l'autre, sur la même plaque frottante, qui, à cet effet, porte double jeu d'orifices. Ces deux tiroirs sont mariés par une forte entretoise qui maintient leur écartement constant. Ce double distributeur est conduit par deux tiges parallèles qui se prolongent en abord, pour se relier sur le tiroir du cylindre admetteur. Du côté intérieur, ces tiges embrassent l'arbre et vont se relier à une traverse verticale guidée par deux glissières horizontales; ces dernières sont fixées sur les bâches à eau douce, comme dans les anciennes machines à deux cylindres de la même usine. Il résulte de cette disposition générale des tiges, que les distributeurs des cylindres conjugués ont tous leurs mouvements communs.

Pour chaque paire de cylindres, le mécanisme de renversement de marche est un secteur Stephenson à bielles horizontales, qui actionne un bouton situé au milieu de la traverse verticale des tiroirs. — La bielle de relevage de chaque secteur monte verticalement et s'articule sur un écrou que commande une vis fixe verticale, terminée par un pignon conique horizontal; ce dernier engrène avec un pignon semblable, mais vertical. Les trois pignons verticaux ont un axe commun qui traverse le haut des condenseurs, dans une gaîne venue de fonte avec ceux-ci; cet axe porte une manivelle qui est commandée par un petit cylindre à vapeur vertical droit avec volant. Cette petite machine est placée au-dessus du joug de la paire centrale de cylindres, contre le condenseur correspondant.

Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable. — L'introduction fixe à tous les cylindres est réglée pour 0,80 de la course à la suspension extrême des secteurs, et peut être abaissée à 0,65 par un changement de suspension de ces organes. Le tuyau de vapeur venant des chaudières longe, en abord, le fond du cylindre admetteur, et porte trois tubulures. Chacune de ces tubulures débouche dans la boîte à tiroir du cylindre admetteur correspondant,

sur la face horizontale du haut, et en abord. L'évacuation du cylindre admetteur part du milieu de la face précitée, et va aboutir à la boîte à tiroir du cylindre détendeur, sur la face supérieure de cette boîte et également en abord. Enfin l'évacuation du cylindre détendeur part du milieu de cette face supérieure et aboutit, dans le condenseur correspondant, à l'angle supérieur avant, et en dedans de la machine.

Les condenseurs sont tubulaires, et au nombre de trois, un par paire de cylindres. Chaque condenseur, la glissière et la bâche à eau douce correspondantes forment un bloc distinct qui ressemble beaucoup à la *fig. 4*, *sect.* 2, *pl.* III. Le condenseur est placé verticalement sur la partie arrière, et la bâche à eau douce sur la partie avant, avec la glissière de traverse de piston entre les deux. Les trois blocs distincts dont font partie les condenseurs sont séparés par un intervalle où viennent se loger les secteurs de la paire de cylindres centrale et de la paire de cylindres arrière. — Chaque condenseur comporte trois faisceaux de tubes horizontaux dans l'intérieur desquels circule l'eau refroidissante. Les tubes sont placés dans une direction perpendiculaire au plan longitudinal du bâtiment. Les pompes à air, au nombre de trois, une par condenseur, sont à piston plongeur et à double effet; les pistons frottent sur une garniture en bois de gaïac. Chacune de ces pompes est placée en dessous de la glissière de la grande traverse et un peu sur l'avant; son piston est conduit par une crosse venue de forge avec la tige de piston inférieure du cylindre détendeur correspondant. Les presse-étoupe des tiges de pompe à air sont disposés pour contenir de l'eau entre deux couches d'étoupe.

L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes de chaque condenseur par une pompe rotative. Les trois pompes sont placées entre les condenseurs et la muraille du bâtiment; elles sont montées sur un axe commun, parallèle à l'arbre moteur et commandé par une petite machine à deux cylindres pilon avec volant, d'une puissance de 100 chevaux indiqués. Cette petite machine est située sur l'avant; ses tiroirs sont en coquille et portent sur leur dos une détente Meyer; elle évacue dans le condenseur avant. Chaque pompe a une prise d'eau spéciale; toutes les prises d'eau sont situées à se toucher et un peu sur l'arrière. Sur le tuyau d'aspiration se trouve une prise d'eau à la cale. — A la sortie des condenseurs, l'eau refoulée par les trois pompes passe dans un tuyau de décharge com-

mun qui la conduit à la mer, et dont le débouché est situé à bâbord arrière de l'appareil moteur.

Il existe trois pompes alimentaires à piston plongeur, une par paire de cylindres. Chacune de ces pompes est accolée à la partie avant d'un condenseur, et son piston est conduit par une crosse très-courte, attenant à la tige de piston supérieure du cylindre détendeur correspondant. — Il n'existe que deux pompes de cale; elles sont situées sur l'avant de la machine et leurs pistons plongeurs sont conduits par un bouton excentré du bout de l'arbre.

La vapeur est fournie à l'appareil moteur par 8 corps de chaudières du type réglementaire haut renforcé (n° 60_1), à 5 foyers chacun et formant un seul groupe. Les chaudières du bord opposé sont dos à dos, et font face en abord; il y a par suite deux chaufferies longitudinales sur les ailes. Cet appareil évaporatoire est muni d'un tirage artificiel par jet de vapeur dans la cheminée, et destiné à fonctionner pour augmenter la production de vapeur, dans certaines circonstances particulières, telles, par exemple, que pour donner la chasse. L'alimentation est assurée, pendant les temps d'arrêt, par deux pompes à vapeur spéciales, système Behrens, munies d'un tuyautage complet et indépendant de l'alimentation ordinaire.

L'appareil moteur du *Redoutable* est très-bien conçu; il est, dans son ensemble, d'une très-grande simplicité et d'une surveillance facile; tous les organes essentiels sont parfaitement accessibles. — On ne pourrait lui reprocher que le manque de liaison des groupes des condenseurs, ce qui pourrait amener des dénivellations dans les glissières.

Puissance	nominale		1.500^{ch}
	indiquée prévue		6.000^{ch} de 75^{km}
Introduction	à tous les cylindres	maximum	0,80
		minimum	0,65
	effective, comparativement à une machine à détente simple	maximum	0,32
		minimum	0,21
Pression absolue aux chaudières			$3^{at},25$
Surface par cheval indiqué prévu de 75^{km} sur les pistons	de grille		$1^{dm.c},23$
	de chauffe		$0^{m.c},3036$
	refroidissante		$0^{m.c},2133$

N° 21_2 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à quatre paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type des forges et chantiers de la Méditerranée. — L'appareil moteur construit par les *forges et chantiers de la Méditerranée*,

pour le croiseur de 1re classe, *le Tourville*, comporte deux groupes de machines ayant leurs arbres moteurs jonctionnés pour fonctionner ensemble; chaque groupe est composé de deux paires de cylindres fixes horizontaux bout à bout, les cylindres admetteurs en abord. Tous les cylindres sont à tribord; ceux du même groupe sont à se toucher; les deux groupes sont séparés par un intervalle de 1m,25 environ, qui donne accès au palier milieu de l'arbre, et dans lequel intervalle sont logés les mécanismes de détente et les secteurs des tiroirs. — Chaque groupe de machines a une plaque de fondation à double fond, qui s'étend en dessous des cylindres et des bâtis, mais qui s'arrête aux condenseurs, placés à bâbord. Cette plaque de fondation ne s'étend pas dans l'intervalle des bâtis. — Le tout repose d'ailleurs sur une carlingue en tôle, transversale et longitudinale, qui présente une grande solidité.

Chacun des huit cylindres est muni d'une enveloppe dans laquelle est introduite la vapeur venant des chaudières; la vapeur est également introduite dans les fonds et dans les couvercles des cylindres détendeurs. — Chaque cylindre admetteur est séparé de son cylindre détendeur par un espace de 0m,60 environ, de plateau à plateau. Dans cet espace sont les presse-étoupe extérieurs pour une tige unique qui réunit les deux pistons. — Les pistons des cylindres détendeurs ont deux tiges qui embrassent l'arbre, et vont se relier, du bord opposé aux cylindres, à un joug monté sur une savatte qui est conique dans le bas; il n'existe par suite qu'une seule glissière. — La bielle est en retour et les presse-étoupe des tiges de piston, du côté de l'arbre, sont à vis (n° 33_8) et peuvent être facilement serrés en marche. — L'arbre est en deux parties jonctionnées par des plateaux venus de forge chacun avec un des bouts d'arbre et solidement boulonnés entre eux.

Chaque partie de l'arbre moteur correspond à un groupe de machines et porte deux coudes calés à 180°. Pour les deux groupes, les lignes des points morts sont à angle droit. Cette disposition des points morts est très-avantageuse, au point de vue de l'équilibration des poids des pièces mobiles dans chaque groupe de machines; or il en résulte une fatigue moindre pour le palier milieu de chaque groupe; mais les deux machines ne peuvent fonctionner isolémen . — L'arbre complet est supporté par six paliers, trois par groupe de machines; le serrage se fait horizontalement contre les cylindres.

Les tiroirs sont placés sur le dos des cylindres, ils sont à double

orifice avec compensateur. Le tiroir du cylindre détendeur a deux tiges placées dans le même plan horizontal; ces deux tiges sont réunies par un té que commande une bielle unique attelée à un arbre particulier, par paire de cylindres. Cet arbre est parallèle à l'arbre moteur et reçoit un mouvement d'oscillation d'un secteur Stephenson. Les deux tiroirs de la même paire de cylindres sont mariés par une tige unique, qui se trouve dans le même plan horizontal que les deux tiges de tiroir du cylindre détendeur. Les tables frottantes des deux cylindres conjugués sont sur le même plan et les espaces neutres constitués par les orifices du cylindre admetteur sont considérables. — Il y a pour chaque paire de cylindres un secteur Stephenson à bielles verticales qui actionne l'arbre particulier des tiroirs dont il a déjà été question ; les excentriques sont clavetés sur l'arbre de couche, à l'avant et à l'arrière du groupe. Chaque secteur est manœuvré par un petit cylindre à vapeur horizontal, avec servo-moteur genre *Duclos* (n° 34_6), accolé au cylindre détendeur correspondant, à toucher le conduit d'évacuation. Pour chaque groupe de deux paires de cylindres, les servo-moteurs sont conjugués, c'est-à-dire que leurs tiroirs sont manœuvrés par le même volant.

Chaque paire de cylindres est pourvue d'un organe de détente variable, placé verticalement sur le côté de la boîte à tiroir du cylindre admetteur, en dedans des groupes. Cet organe de détente est à plaque frottante : il est conduit par un excentrique à calage variable sans déclanche ; le décalage s'opère au moyen d'un pignon engrènant avec un secteur denté qui fait corps avec l'excentrique, et la fixation se fait au moyen d'un boulon monté sur un bras claveté sur l'arbre en dehors des paliers, et engagé dans une gorge circulaire que porte l'excentrique. La tige de l'organe de détente est horizontale et à la même hauteur que les tiges du tiroir; elle reçoit son mouvement d'un système de leviers commandés par la bielle de l'excentrique de détente ; cette dernière est verticale. Deux soupapes permettent d'introduire directement la vapeur dans les boîtes à tiroirs des cylindres admetteurs, soit pour faciliter la mise en marche, soit pour supprimer le fonctionnement de la détente variable.

Le conduit principal de vapeur aboutit entre les deux groupes de machines et se biffurque en deux branches, l'une vers le cylindre admetteur avant du groupe arrière, l'autre vers le cylindre admetteur arrière du groupe avant. Pour chaque groupe, la vapeur pénètre

dans les boîtes à détente en passant par une seule valve-registre formée de deux soupapes équilibrées dans le genre de celle qui est représentée en *fig.* 17, *pl.* V. L'axe de cette soupape est parallèle à l'arbre de couche; elle est logée dans un cylindre creux débouchant par ses deux extrémités dans une caisse qui surmonte la boîte à tiroir du cylindre admetteur le plus voisin; cette boîte communique directement avec l'organe de détente de ce cylindre, et un conduit amène la vapeur dans l'organe de détente du cylindre admetteur de l'autre paire de cylindres du même groupe. Cette double soupape, formant registre, se manœuvre dans le sens de son axe à l'aide de renvois de mouvements commandés par un volant. — Chaque cylindre admetteur évacue dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur correspondant par un tuyau situé, par rapport aux boîtes à tiroirs, en dessus et en dehors de la machine. Le cylindre détendeur évacue par un gros tuyau situé aussi en dehors de la machine par rapport à la boîte à tiroir correspondante.

Chaque paire de cylindres possède un condenseur tubulaire avec circulation d'eau dans les tubes : ce condenseur est placé en face du cylindre détendeur, de l'autre côté de l'arbre et un peu en dehors par rapport au groupe que l'on considère, la partie inférieure est plus étroite que celle du haut; elle est d'ailleurs légèrement échancrée pour laisser le passage libre à la tige de piston. La bâche à eau douce est commune aux deux condenseurs du même groupe; elle est placée juste en face du palier central. Les glissières de grande traverse sont logées entre la bâche à eau douce et les condenseurs; les traverses sont complétement à découvert. — Dans chaque condenseur, les tubes sont en deux faisceaux horizontaux superposés; les axes des tubes sont perpendiculaires au plan longitudinal. Les faisceaux inférieurs s'élèvent jusqu'un peu au-dessus des tiges de piston supérieures; l'autre faisceau est dans une caisse un peu plus large et plus haute que le compartiment du faisceau inférieur. Le sommet de la bâche à eau douce est à la même hauteur que les tubes les plus élevés de ce dernier faisceau.

Il existe quatre pompes à air, une par condenseur; ces pompes sont à piston plongeur et à double effet, avec frottement sur une garniture de bois de gaïac. Ces pompes sont placées au-dessous et près de la bâche à eau douce; le piston de chacune de ces pompes est conduit par un bras attenant à la tige de piston inférieure du cylindre détendeur correspondant. Les presse-étoupe des tiges de

piston de pompe à air sont disposés pour contenir de l'eau entre deux couches d'étoupe. — L'eau de circulation est refoulée dans chaque condenseur par une pompe centrifuge située en abord du condenseur. Cette pompe a une prise d'eau à la mer et une autre à la cale. Les deux pompes du même groupe de machines ont un axe commun, parallèle à l'arbre moteur ; cet axe est commandé par une petite machine verticale placée entre les deux pompes. Les deux machines auxiliaires qui commandent les pompes de circulation sont d'une puissance totale de 100 chevaux indiqués. — L'eau est refoulée de la partie supérieure à la partie inférieure du condenseur, d'où elle s'écoule à la mer. — Les tuyaux de refoulement à la mer et d'aspiration à la cale des pompes de circulation, sont situés par le travers de l'intervalle des deux groupes de machines. Il existe une soupape de sûreté sur une des coquilles de chaque condenseur; cette soupape est destinée à prévenir les ruptures qui pourraient résulter soit de l'obstruction accidentelle du tuyau de décharge, soit de l'oubli de l'ouverture de son obturateur au moment de la mise en marche des pompes. — Sur le sommet de chaque condenseur, presque en abord et en dedans par rapport à la machine correspondante, se trouve un robinet d'injection directe pour mettre de l'eau salée dans la vapeur, afin de réparer les pertes.

Il n'existe, pour chaque groupe de machines, qu'une pompe alimentaire et qu'une pompe de cale : ces deux pompes sont placées côte à côte sur la bâche à eau douce, droit au-dessus des pompes à air. La pompe alimentaire est sur l'arrière pour le groupe avant, et sur l'avant pour le groupe arrière. Le piston de chacune de ces pompes est conduit par une tige de piston spéciale du cylindre détendeur correspondant.

L'appareil évaporatoire est formé de deux groupes, comprenant chacun six corps de chaudières réglementaires du type haut renforcé, à quatre foyers chacun, avec chambre de chauffe longitudinale. Il existe une cheminée par groupe et les chaufferies sont placées toutes les deux sur l'avant de l'appareil moteur. Chaque groupe de chaudières est muni d'un tirage artificiel par jet de vapeur dans la cheminée, destiné à forcer la production de vapeur dans certaines circonstances, telles que le cas de chasse donné à un navire ennemi. — L'alimentation est assurée pendant les temps d'arrêt par quatre pompes à vapeur spéciales, du système Behrens, pouvan fournir 20.000 litres d'eau à l'heure, et ces pompes sont pourvues

d'un tuyautage de refoulement complet et indépendant de celui des pompes alimentaires attenant à la machine.

Puissance	nominale.		1.800ch
	indiquée.		7.200ch de 75km
Introduction par les secteurs Stephenson	à tous les cylindres.	maximum..	0,80
		minimum..	0,60
	effective, comparativement à une machine à détente simple	maximum..	0,384
		minimum..	0,288
Introduction par l'organe de détente variable	aux cylindres admetteurs.	maximum..	0,65
		minimum..	0,35
	effective, correspondante.	maximum..	0,312
		minimum..	0,168
Pression absolue aux chaudières.			3at,25
Surface par cheval indiqué prévu de 75km	de grille.		1dm.c,23
	de chauffe.		0m.c,3036
	refroidissante.		0m.c,1744

N° 31, Machines Woolf, horizontales à bielle en retour à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : types de Humphrys et Tennant et de Laird de Birkenhead. — *Humphrys et Tennant* ont monté sur quelques navires de la marine anglaise, et notamment sur la frégate *Pallas*, un appareil du système Woolf qui rappelle le type à pilon, mais mis à plat, qui est décrit au n° 27_4 et représenté en *sect.* 2, *pl.* II. — Cet appareil se compose de deux paires de cylindres horizontaux placés bout à bout, avec un fond commun. Les deux pistons sont montés sur une même tige qui passe dans un presse-étoupe métallique du fond commun aux deux cylindres. Ces récipients sont pourvus d'enveloppes de vapeur; chaque cylindre admetteur est en porte-à-faux sur le cylindre détendeur auquel il est boulonné. — Tout le reste de l'appareil rappelle les dispositions du type à bielle en retour, avec condenseurs par surfaces de ces constructeurs. Ajoutons seulement que les tiroirs des cylindres qui emploient la même vapeur sont montés sur une tige commune comme dans le type à pilon. Il n'existe pas d'organe spécial de détente variable.

La position en porte-à-faux des cylindres admetteurs est défectueuse, surtout pour des machines puissantes; ces cylindres auraient besoin d'être soutenus par des bâtis convenablement disposés et placés au-dessous.

Puissance	nominale.	600ch
	indiquée.	3.500ch de 75km
Introduction	cylindres admetteurs.	0,80
	cylindres détendeurs.	0,80
	effective, comparativement à une machine à détente simple.	0,20
Pression absolue aux chaudières.		2at,50
Surface par cheval indiqué de 75km sur les pistons	de grille.	1dm.c,12
	de chauffe.	0m.c,3030
	refroidissante.	0m.c,2200

Type Laird. — Des machines construites par *Laird, de Birkenhead*,

ont été montées sur le cuirassé anglais *le Shannon;* elles comportent, comme le type précédent, deux paires de cylindres dont les pistons sont reliés par une tige commune; les pistons des cylindres détendeurs ont deux tiges qui embrassent l'arbre, et dont les traverses actionnent des bielles en retour. Chaque machine est pourvue d'un condenseur dont les tubes sont en bronze étamé. Ces condenseurs sont desservis par deux pompes centrifuges mues par un moteur indépendant. Les pompes à air sont conduites par des crosses fixées sur les tiges inférieures des pistons des cylindres détendeurs. Les tiroirs sont conduits par des secteurs dont la suspension peut être changée par un seul homme au moyen d'une petite machine à vapeur. — Une particularité très-importante de l'appareil moteur du *Shannon*, c'est que les cylindres admetteurs sont munis de soupapes *Wrigth*, qui permettent d'introduire directement dans les cylindres détendeurs, en même temps que dans les deux bouts de chaque cylindre admetteur, de sorte que l'action des pistons de ces cylindres est annulée pendant les manœuvres.

La vapeur est fournie par huit chaudières cylindriques tubulaires à deux foyers, placées en travers, de chaque côté d'une cloison longitudinale, avec chambre de chauffe sur les ailes.

Puissance indiquée		3.500^{ch} de 75^{km}
Pression absolue aux chaudières		$6^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},00$
	de chauffe tubulaire	$0^{m.c},2300$
	refroidissante	$0^{m.c},2143$

N° 31_4 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Maudslay. — MM. *Maudslay* ont construit pour le *Sirius*, bâtiment de la flotte anglaise, un appareil horizontal de 350 chevaux, à quatre cylindres, dont les pistons agissent sur deux coudes de l'arbre calés à angle droit; le cylindre admetteur est à moitié logé dans le cylindre détendeur, comme on le voit sur la *fig.* 7, *pl.* V. Les pistons de ces deux cylindres sont reliés par une tige centrale. Deux autres tiges fixées sur le piston du cylindre détendeur, et disposées comme dans les machines à bielle en retour, passent de chaque côté du cylindre admetteur et se jonctionnent sur les bras de la traverse. Cette dernière, semblable à celle de *Mazeline*, ne porte qu'un coulisseau avec glissière recourbée sur les côtés pour embrasser le pied du coulisseau. Ce coulisseau forme d'ailleurs un double palier dans lequel est fixée la traverse. Les cylindres ont des chemises de vapeur. — Les tiroirs des cylindres détendeurs, placés verticalement sur le côté de ces cylindres, sont à double orifice et à compensateur. Ils ont deux tiges fixées sur une traverse conduite par un secteur Stephenson. Les tiroirs des cylindres admetteurs sont au-dessus de ces cylindres, et vers le milieu de la machine, c'est-à-dire sur la partie qui se trouve en dehors des grands cylindres, ce qui donne une grande longueur à l'orifice du bas. Ces tiroirs, qui sont en coquille simple et à compensa- Pl. V.

teur, reçoivent leur mouvement de la traverse du tiroir du cylindre détendeur correspondant, par l'intermédiaire de doubles leviers, de telle sorte que les tiroirs des deux cylindres couplés marchent toujours dans le même sens.

Les condenseurs à surface ont les tubes horizontaux. Les pompes à air sont mues par les tiges inférieures des pistons à vapeur, et sont en dehors des axes des cylindres. Les pompes de circulation, placées en dedans des mêmes axes, sont conduites directement par les pistons à vapeur. Les pompes de cale et d'alimentation, à piston plongeur, sont horizontales et reçoivent le mouvement des chapeaux de palier des coulisseaux de grandes traverses sur lesquels les tiges de ces pompes sont fixées.

Puissance	nominale	350^{ch}
	indiquée	2.325^{ch} de 75^{km}
Introduction effective, comparativ^t. à une machine à détente simple, environ		0,125
Pression absolue aux chaudières		5^{at},00
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de chauffe	0$^{m.c}$,2200
	refroidissante	0$^{m.c}$,1700

N° 31_8 Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux paires de cylindres l'un sur l'autre points morts communs (à hélice), avec condensation par surface : type de Wymer. — Ce type est peu répandu; néanmoins, nous en donnerons une description succincte à cause de son originalité. L'appareil comporte deux paires de cylindres placés comme l'indique la *fig.* 8, *pl.* V. — Chaque cylindre admetteur est placé directement au-dessus du cylindre détendeur correspondant. Les tiges de piston des cylindres admetteurs sont situées dans un plan horizontal passant au-dessus de l'arbre, parallèlement au plan des axes des cylindres détendeurs. L'axe de chaque cylindre admetteur et celui de son cylindre détendeur sont dans un même plan vertical perpendiculaire à l'axe de l'arbre; les tiges de piston de ces deux cylindres actionnent, par l'intermédiaire de menottes, un balancier vertical dans sa position moyenne d'oscillation, et supporté par un axe placé à l'extrémité supérieure; ce balancier oscille dans un palier fixé sur le condenseur. La bielle est renversée; son pied est articulé sur le balancier entre les soies des menottes des deux cylindres. Les condenseurs sont accolés, du bord opposé aux cylindres. Ils sont à surface, à tubes verticaux; la vapeur passe dans les tubes. Les pompes à air, de circulation et d'alimentation sont mues directement par la traverse de piston du cylindre détendeur. Les pompes de cale sont à piston plongeur et à fourreau; elles reçoivent leur mouvement d'excentriques fixés sur l'arbre de couche. Les tiroirs sont conduits par des secteurs. Pour une puissance de 1.000 chevaux, les cylindres admetteurs ont 1^m,80 de diamètre et 0^m,915 de course; les cylindres détendeurs, 2^m,54 de diamètre et 1^m,830 de course. D'où il résulte que le volume de chaque cylindre détendeur est quatre fois plus grand que celui du cylindre admetteur correspondant. Avec une introduction de 0,65 dans le cylindre admetteur, l'introduction effective, comparativement à une détente simple, serait de 0,15.

Fig. 8, Pl. V.

L'espace occupé dans la cale n'est guère supérieur à 6 mètres en longueur; par contre, il faut près de 5 mètres en hauteur pour les deux cylindres superposés, et les bâtis qui supportent les balanciers sont beaucoup plus élevés que les cylindres. Il en résulte que les machines horizontales de ce type occupent autant de place en hauteur qu'en longueur, ce qui peut être un inconvénient grave pour un bâtiment de guerre.

N° 31$_6$ Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à deux cylindres simples ayant deux pistons à demi-fourreau (à hélice), avec condensation par surface : type de Rennie. — Comme ensemble cette machine dérive du type à deux cylindres à bielle en retour de ce constructeur. Chaque cylindre a été allongé et porte intérieurement et en son milieu une nervure à profil rectangulaire, munie d'une garniture de presse-étoupe, et embrassant un cylindre semblable aux pistons plongeurs des pompes à double effet. Ce dernier cylindre porte, à chacune de ses extrémités, un piston à vapeur muni de ses garnitures et frottant d'une manière étanche contre la paroi du cylindre extérieur. Il résulte de cette disposition que le cylindre est partagé par la nervure médiane en deux parties dans chacune desquelles se meut un piston, plein du côté extérieur et annulaire du côté de la nervure. — La vapeur de la chaudière arrive directement et alternativement dans chacune des parties annulaires, puis passe dans les extrémités du cylindre pour agir sur les pistons pleins avant de s'évacuer au condenseur. — L'introduction a lieu pendant les 0,5 de la course dans la partie annulaire; et comme la surface pleine du piston est quatre fois plus grande que celle de la partie annulaire, il en résulte une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,125. — L'appareil moteur complet comporte deux cylindres semblables séparés par une petite coursive. Chaque piston porte deux tiges qui vont se fixer sur une traverse dont les tourillons s'appuient sur deux guides. La condensation s'effectue par contact; les tubes sont verticaux et en trois faisceaux. Le piston de la pompe à air et celui de la pompe de circulation sont menés par des tiges spéciales des pistons. — L'arbre est soutenu par quatre paliers. — Les tiroirs, mus par des secteurs horizontaux, sont sur les côtés extérieurs des cylindres. Ces tiroirs sont doubles pour régler en même temps l'introduction dans le cylindre annulaire, l'évacuation de ce cylindre dans le cylindre détendeur, et l'évacuation de ce dernier au condenseur. Entre les deux paliers milieu de l'arbre de couche se trouvent les excentriques de détente et un autre excentrique à cadre qui conduit les pompes alimentaires.

Cette machine occupe un peu plus de place dans le sens transversal qu'une machine ordinaire; mais elle n'en occupe pas plus dans le sens longitudinal. Les espaces neutres entre le cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant sont limités aux orifices de ces cylindres.

N° 31$_7$ Machine double Woolf, horizontale à bielle directe à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 90° (à deux hélices), avec condensation par sur-

face : type des forges et chantiers de la Méditerranée (annexe du Havre). — L'appareil complet de ce type comporte deux machines distinctes, dos à dos, laissant entre elles, au milieu du bâtiment, une petite coursive pour le service, et qui est d'ailleurs assez grande pour qu'on puisse démonter avec facilité les fonds de cylindres, pour visiter les pistons. Dans chaque machine, le cylindre admetteur est placé sur l'avant et le cylindre détendeur sur l'arrière. Ces cylindres sont munis d'enveloppes mises directement en communication avec le tuyau de vapeur; les vides des fonds et des couvercles sont en communication avec les enveloppes. Toutes les purges aboutissent au condenseur. — Les coudes de l'arbre sont calés à 90°. Les pistons n'ont qu'une seule garniture en métal antifrictionné. Les presse-étoupe de tige de piston sont munis d'une disposition à vis semblable à celle qui est représentée en *fig.* 6, *Pl.* VI, et qui permet de les serrer en marche. Chaque tige de piston porte, à son extrémité, un palier dans lequel oscille le tourillon du pied à fourche de la grande bielle. Ce palier se prolonge au-dessous et reçoit une traverse aux extrémités de laquelle sont les coulisseaux de glissière. Les glissières se trouvent par suite en contre-bas du plan des axes de cylindre. — Les paliers de l'arbre de couche, au nombre de trois, sont munis de coussinets cylindriques en bronze, qui peuvent être facilement visités et démontés sans enlever l'arbre. Le serrage est horizontal. Ces paliers terminent des bâtis en deux parties rectangulaires à angles arrondis; les glissières sont rapportées sur les parties inférieures des bâtis.

Les tiroirs sont verticaux et sur le côté des cylindres; le tiroir du cylindre admetteur sur l'avant, celui du cylindre détendeur sur l'arrière. Ces tiroirs sont à double orifice et à compensateur. La partie compensée des tiroirs est mise en communication avec le condenseur par l'intermédiaire de petits tuyaux, munis de robinets, qui aboutissent sur la porte de chaque boîte à tiroir. Ces distributeurs sont conduits par des secteurs qui, dans chaque machine, ont un arbre de relevage commun. Cet arbre, placé horizontalement vers la partie basse des cylindres, porte, entre les deux manivelles de suspension des secteurs, deux autres manivelles qui font partie du mécanisme de renversement de marche. La première de ces manivelles, placée tout à fait sur l'avant de la machine, porte à son extrémité un écrou oscillant, actionné par une forte vis horizontale à filets carrés à l'extrémité de laquelle se trouve le volant de manœuvre à la main; ce volant est placé près du fond du cylindre admetteur. La deuxième manivelle est placée entre les deux cylindres et est reliée, par l'intermédiaire d'une bielle, à la tige de piston d'un petit cylindre-pilon. Le tiroir de ce cylindre se manœuvre au moyen d'un petit levier situé sur l'avant, de sorte qu'en plaçant convenablement ce levier, on introduit la vapeur dans le petit cylindre-pilon; l'action de cette vapeur sur le piston vient en aide au mécanicien qui tourne le volant de la mise en train; par ce dispositif, un seul homme suffit dans chaque machine pour renverser la marche. — Le conduit d'évacuation du cylindre admetteur contourne les deux cylindres, dans des canaux formant une portion d'enveloppe extérieure aux enve-

loppes réchauffantes, et vient aboutir aux deux côtés opposés de la boîte à tiroir du cylindre détendeur. Ce conduit d'évacuation porte une soupape de sûreté dans sa partie supérieure, entre les deux cylindres. — Une petite soupape d'arrêt, placée dans le bas de la boîte à tiroir, permet d'envoyer directement la vapeur dans le conduit d'évacuation de ce cylindre, pour assurer le balancement et le départ de la machine lors de la mise en marche. Le cylindre détendeur est muni, en outre, d'un petit tiroir avec orifices spéciaux qui permet d'introduire directement la vapeur dans l'intérieur de ce cylindre. Ce tiroir est manœuvré par un levier placé tout à fait sur l'avant, à côté du registre.

L'organe de détente variable, pour le cylindre admetteur seulement, est une plaque frottante à deux orifices et de course variable; cet organe est conduit par un excentrique à calage fixe. Le pied de bielle de chaque excentrique est articulé sur un coulisseau mobile le long d'un levier, vertical dans sa position moyenne d'oscillation, tandis que la bielle de l'organe de détente est fixée à l'extrémité d'un levier opposé au premier. La course de l'organe de détente varie avec la position du coulisseau précité sur le levier que l'excentrique de détente conduit. Le déplacement du coulisseau sur le levier de transmission de mouvement s'effectue au moyen d'une vis fixée à ce levier et actionnée par un petit volant. Une graduation tracée sur le levier, à l'affleurement des positions principales du coulisseau mobile, indique le degré de détente auquel on fonctionne. L'introduction minimum est de 0,2 de la course du piston. — Il n'existe pas de mécanisme de déclanchement.

Il existe un condenseur tubulaire par machine: ce condenseur est à l'opposé des cylindres, de l'autre côté de l'arbre, et par suite en abord. Les tubes sont horizontaux et en deux faisceaux que la vapeur contourne. Ces tubes sont fixés sur les plaques de tête par de petits presse-étoupe à vis (n° 48_1). Le condenseur possède une injection directe avec prise d'eau spéciale; cette injection est disposée pour que la machine puisse fonctionner au besoin avec la condensation par mélange. — La pompe à air est horizontale, du système à piston plongeur et à double effet; la tige de son piston est fixée sur un bras qui termine la partie inférieure du palier de la tige de piston du cylindre admetteur, un peu au-dessous de la traverse de ce cylindre. Cette pompe à air a le même volume que si la condensation devait s'effectuer par mélange. — La bâche à eau douce, munie d'une décharge accidentelle, communique avec le tuyau de refoulement de la pompe de circulation. — La pompe de circulation est à action centrifuge; elle est placée sur l'arrière. Cette pompe est mise en mouvement par une petite machine à pilon à un seul cylindre, dont l'arbre est celui de la pompe centrifuge elle-même. Cette petite machine est d'une puissance de 40 chevaux indiqués pour une puissance totale de 1.100^{ch} de 75^{km}. — La pompe de cale, logée comme la pompe à air dans la partie inférieure du condenseur, est en face du cylindre détendeur; cette pompe est horizontale, à piston plongeur et à simple effet; son piston est conduit par un bras qui termine la partie inférieure du palier de la tige de piston du cylindre détendeur;

le refoulement de la pompe de cale débouche dans le tuyau de décharge de la pompe de circulation. La pompe alimentaire est à piston plongeur à fourreau ; elle est placée sur l'avant, directement au-dessous de l'arbre ; son piston est conduit par un excentrique. — Enfin deux pompes à quatre fins manœuvrables à bras quand la machine est stoppée, mais qui peuvent aussi être mues par l'appareil moteur au moyen d'une traverse à leviers, peuvent servir soit de pompes alimentaires, soit de pompes de cale.

L'appareil évaporatoire se compose de huit chaudières cylindriques à deux foyers, tubulaires à retour de flamme. Ces chaudières forment deux groupes avec chaufferie longitudinale. Les tuyaux de vapeur de chaque groupe se réunissent dans la machine et sont munis, en avant de leur point de jonction, d'un épurateur en fonte de forme cylindrique, avec cloison verticale qui oblige la vapeur à changer brusquement de direction. Ces épurateurs sont munis de tubes de niveau et se purgent à la bâche à eau douce. — L'alimentation est assurée pendant les temps d'arrêt par une pompe américaine système *Lee et Learned* (n° 63_6) à deux cylindres, de la force de 20 chevaux indiqués.

Le type dont il vient d'être question est très-compacte, et cependant suffisamment accessible dans toutes ses parties. Tous les détails sont bien entendus et ont été exécutés avec beaucoup de soin. On le rencontre sur les monitors à deux tourelles *Salimoës* et *Javary* construits pour le gouvernement du Brésil, dans les ateliers des *forges et chantiers de la Méditerranée* à la *Seyne* et dans son annexe du *Havre*.

Puissance indiquée en chevaux de 75^{km}		2.200^{ch}
Introduction fixe	cylindres admetteurs	0,50
	cylindres détendeurs	0,67
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,14
Introduction minimum par l'organe de détente	cylindre admetteur	0,2
	effective, correspondante	0,057
Pression absolue aux chaudières		$5^{at},25$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},00$
	de chauffe	$0^{m.c},2800$
	refroidissante	$0^{m.c},1862$

N° 31_8 Machine double Woolf, horizontale à bielle directe à deux paires de cylindres l'un dans l'autre points morts communs (à deux hélices), avec condensation par surface : type de Dudgeon. — MM. *Dudgeon*, de Londres, ont construit pour le bateau-poste à deux hélices *Ruahine*, un appareil moteur à cylindres intérieurs que nous décrivons à cause de son originalité. Chaque hélice est conduite par une machine à quatre cylindres actionnant un arbre à deux manivelles à angle droit. Le cylindre admetteur est entièrement placé dans le cylindre détendeur, dont le piston est par conséquent annulaire (comme on le voit sur la *fig.* 2, *pl.* VI), avec garnitures en dehors et en dedans de l'anneau. Le piston du cylindre admetteur a une seule tige qui se prolonge en contre-tige à travers un presse-étoupe du fond de cylindre. Le piston du cylindre détendeur a deux tiges. Les trois tiges sont placées sur un même diamètre horizontal et

viennent se fixer sur une traverse commune, qui porte des guides ordinaires, au-dessous des tiges du grand piston. Il n'y a qu'un tiroir pour les deux cylindres. Ce tiroir est disposé de telle sorte que la vapeur qui évacue le haut, par exemple, du cylindre admetteur, pénètre dans le bas du cylindre détendeur, afin que les deux pistons soient poussés dans le même sens. Les barrettes qui correspondent au cylindre détendeur ont exactement la hauteur des orifices, de sorte qu'il n'y a pas de détente séparée dans ce cylindre, et que les avances à l'introduction, égales aux avances à l'évacuation, sont très-fortes. Les tiroirs sont conduits par deux excentriques avec secteur Stephenson.

Chaque machine ne possède qu'un condenseur à surface; il est placé derrière les cylindres dont les tuyaux d'évacuation convergent au milieu du sommet du condenseur. Les tubes sont horizontaux et en trois faisceaux que la vapeur contourne. L'eau refroidissante traverse d'abord les tubes du faisceau inférieur, puis ceux du milieu, et sort du condenseur après avoir traversé les tubes du faisceau supérieur. Les pompes à air et de circulation sont à double effet; elles sont mues directement par les contre-tiges des pistons des cylindres admetteurs; les pompes de cale et d'alimentation, qui sont à simple effet, sont conduites par des bras fixés sur chacune des tiges de piston des pompes à air.

Comme disposition à bord du bâtiment, les deux machines sont placées à la suite l'une de l'autre. La machine de l'avant conduisant l'hélice de tribord a ses cylindres et son condenseur placés à bâbord (le condenseur étant, comme il a été dit, placé derrière les cylindres). La machine de l'arrière qui conduit l'hélice de bâbord a ses cylindres et son condenseur placés à tribord. L'arbre de chaque machine passe entre les cylindres et le condenseur de l'autre.

Puissance	nominale	350^{ch}
	indiquée	1.540^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindres admetteurs	0,64
	cylindres détendeurs	0,90
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,15
Pression absolue aux chaudières		$3^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km} sur les pistons	de grille	$1^{dm.c},21$
	de chauffe	$0^{m.c},2260$
	refroidissante	$0^{m.c},2070$

Après plusieurs voyages de *Sydney à Panama*, les machines du *Ruahine*, que nous venons de décrire, ont été enlevées, quoique fonctionnant très-bien, et remplacées par une machine Woolf à deux cylindres pilon côte à côte, conduisant une seule hélice de MM. *Day* et *Summers* (n° 28_9). Le bâtiment porte actuellement le nom de *Liffey*. La consommation du charbon par cheval indiqué et par heure, qui était de $1^{k},220$ avec l'appareil moteur du type *Dudgeon*, est de $1^{k},110$ avec le nouvel appareil moteur.

N° 31, Machine Woolf, horizontale à fourreau à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180° (à hélice), avec condensation par surface : type de Turner.

— M. *Turner*, directeur de la *Thames Iron et Ship building Company*, a fait une application très-intéressante du système Woolf aux machines à fourreau. — L'appareil se compose de quatre cylindres placés deux à deux vis-à-vis l'un de l'autre; ils sont munis d'enveloppes, et la vapeur qui remplit ces enveloppes ainsi que le creux des fonds et des couvercles ne travaille pas dans les cylindres. Les couvercles, du côté de l'arbre, sont du même jet de fonte que les cylindres. Les pistons sont à double fourreau. — De chaque bord se trouve un cylindre d'introduction directe et le cylindre détendeur correspondant. Chaque cylindre admetteur a en face de lui le cylindre détendeur du bord opposé; mais les axes de ces cylindres ne sont pas en ligne droite. La distance entre les cylindres juxtaposés étant constante, ceux de tribord ont été transportés de l'avant à l'arrière par rapport au système des deux autres, et leurs manivelles, diamétralement opposées l'une par rapport à l'autre, sont calées à 90° sur celles des cylindres de bâbord. — Afin d'éviter l'arbre à quatre coudes, on a relié deux à deux les soies des manivelles voisines, qui sont à angle droit, par des bielles courtes dont la longueur est égale au côté du carré inscrit dans le cercle que décrit le centre du bouton de manivelle. Ces bielles sont formées d'une double chape avec serrage sur le milieu de sa longueur. — L'arbre moteur est donc en trois parties; il est supporté par cinq paliers dont un, celui de l'arrière, n'appartient pas aux bâtis de la machine. Le tronçon avant n'est supporté que par un seul palier très-long; la portée est conique, la grande base sur l'arrière, et tout mouvement de ce tronçon dans le sens de son axe est empêché par un fort écrou vissé sur une partie saillante de l'arbre, et appuyant sur une forte rondelle formant collet. Les autres tronçons de l'arbre portent chacun deux collets.

Les tiroirs sont placés sur le dos des petits cylindres et sur le côté des grands; ils sont mus par des coulisses dont les excentriques sont montés sur l'arbre intermédiaire, entre les deux paliers qui supportent cet arbre. Le tiroir de chaque cylindre admetteur se compose de simples barrettes à double orifice, et ne règle que l'introduction. Le tiroir placé entre les deux cylindres règle l'évacuation du cylindre admetteur en même temps que toutes les fonctions du cylindre détendeur. Le cylindre d'introduction directe a donc double jeu d'orifices; ceux d'évacuation de ce cylindre et ceux d'introduction du cylindre détendeur sont face à face, et séparés seulement par l'épaisseur du tiroir commun. Les espaces neutres du petit cylindre au grand sont donc réduits au minimum. Le tiroir commun aux deux cylindres a la forme d'un tiroir en D long placé sur la bande du cylindre détendeur, mais il évacue par les arêtes intérieures. — Sur la bande d'introduction de chaque cylindre admetteur, et du côté de son cylindre détendeur, se trouve un petit tiroir que l'on manœuvre à la main, et qui permet d'introduire directement la vapeur dans les orifices du cylindre détendeur correspondant, toutes les fois que la machine hésite à partir.

Les condenseurs sont placés au-dessus de l'arbre moteur, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière de la machine. Les tubes sont horizontaux et forment trois faisceaux. Toutes les pompes sont au-dessous de l'arbre;

leurs pistons sont conduits directement par deux tiges du cylindre détendeur opposé, qui est celui auquel le condenseur appartient.

Cette application du système Woolf a donné de très-bons résultats; la vapeur se détend très-régulièrement en passant du petit cylindre dans le grand, et les espaces neutres entre les deux cylindres sont insignifiants. — L'introduction fixe est de 0,5 dans le cylindre admetteur, ce qui procure une introduction effective, comparativement à une machine à détente simple, de 0,18 pour la marche à toute puissance.

CHAP. II, § 4. — MACHINES POUR CANOTS A VAPEUR.

N° 32. — 1. Historique des machines pour canots à vapeur. — 2. Conditions générales que doivent remplir les machines de canots à vapeur. — 3. Machines de canots ordinaires, à pilon à cylindre unique (à hélice), sans condensation : types de Claparède. Canots silencieux. — 4. Machines de canots ordinaires, à pilon à cylindre unique (à hélice), sans condensation : types des forges et chantiers de la Méditerranée et de Bourdon. — 5. Machines de canots ordinaires (à hélice), sans condensation : types de Verey, de Harker, de Carret et Marshall et de Isaac Mason. — 6. Machines de canots doubles ordinaires (à deux hélices), sans condensation ou avec condensation par surface : types de Penn, de Maudslay, de Rennie et de Chrichton. — 7. Machines de canots Woolf, à pilon à une paire de cylindres bout à bout ou côte à côte (à hélice), avec condensation par surface : types des forges et chantiers de la Méditerranée.

N° 32₁ Historique des machines pour canots à vapeur. — Le premier canot à vapeur pour le service à la mer a été construit en France, par l'usine *Mazeline*, en 1857. Ce canot, destiné au yacht *Jérôme Napoléon*, aujourd'hui *Kléber*, avait 8^{m} de long, pesait 3,000 kil., et était hissé tout monté sur quatre porte-manteaux. Son appareil moteur se composait d'une machine verticale à un seul cylindre évacuant dans la cheminée, et menait deux hélices latérales. L'arbre de chacune de ces hélices était actionné par une bielle suspendue à l'extrémité d'une traverse unique fixée sur la tige du piston moteur. Chaque arbre portait une roue dentée engrenant avec deux autres roues intermédiaires montées folles sur leur axe; cette disposition obligeait les hélices à tourner en sens contraire, et donnait à chaque instant de la rotation des positions symétriques aux deux bielles et à leurs manivelles. — Cette petite machine était alimentée par une chaudière cylindrique tubulaire à retour de flamme, ayant les tubes autour du ciel d'un foyer unique, et fonctionnant à 3^{at},5 de pression absolue. La puissance était de 10 chevaux de 75^{km}, avec une surface de chauffe de 0$^{m.c}$,40 par cheval indiqué. Les engrenages, bien que légers, formaient volant et facilitaient le passage des points morts.

Sur un deuxième canot construit peu après par *Mazeline*, l'appareil moteur, de même puissance que le premier, était une machine à pilon ayant un seul cylindre supporté par des bâtis, et menant une seule hélice. Le tiroir était conduit par deux excentriques avec secteur Stephenson. L'évacuation se faisait dans la cheminée. Cette machine était munie d'un petit

volant destiné à faciliter le passage des points morts. — La chaudière, également cylindrique et à retour de flamme, avait les fonds sphériques. — C'est sur ce canot que *l'injecteur Giffard* a été employé pour la première fois à l'alimentation des chaudières à la mer.

Depuis lors, il a été construit un grand nombre d'embarcations à vapeur de dimensions et de puissances diverses, ayant une seule hélice, ou bien deux hélices indépendantes. Le type à pilon inauguré par *Mazeline* sur son deuxième canot a été imité par presque tous les constructeurs, avec des modifications de détail propres à chacun d'eux; quelques-uns ont ajouté un condenseur.

Des appareils moteurs furent d'abord placés sur les chaloupes, qui durent nécessairement recevoir un accroissement de dimensions pour être en mesure de supporter, outre leur chargement ordinaire, le poids de leur moteur à vapeur. Ces appareils étaient disposés pour être élingués et embarqués séparément, avant de hisser la chaloupe à bord; mais ces embarcations étaient encore trop lourdes pour pouvoir être manœuvrées avec facilité, surtout à la mer, tant qu'on leur conservait le tonnage nécessaire pour porter une ancre. On reconnût bientôt qu'il était plus avantageux d'avoir une embarcation à vapeur légère, pouvant être hissée sur des porte-manteaux, et dont le rôle se réduirait au remorquage des autres embarcations, y compris la chaloupe. Cette dernière pouvait alors conserver ses anciennes dimensions, et rester aussi facilement manœuvrable que par le passé. Actuellement, la marine militaire ne fait plus construire que des canots de 10^{m} et de 8^{m},50 de long, qui peuvent être embarqués avec leur appareil moteur tout monté. Ces canots possèdent un armement en guerre; mais ils sont plus spécialement destinés au remorquage des chalands ou des autres embarcations du bord. Presque toutes les marines sont entrées dans la même voie.

N° 32, Conditions générales que doivent remplir les machines de canots à vapeur. — En raison de la petitesse relative des embarcations qu'elles doivent mouvoir, les machines des canots à vapeur doivent tenir le moins de place possible; dès lors il est nécessaire que ces appareils fonctionnent à haute pression, et que, par suite, les chaudières soient alimentées à l'eau douce. D'un autre côté, ces machines doivent être d'une grande simplicité de construction; leur manœuvre doit être prompte; mais il faut surtout qu'on puisse les démonter avec la plus grande facilité pour les visiter et les nettoyer, car elles manquent d'abri et sont très-exposées à être mouillées par l'eau de mer. — Le peu d'encombrement réservé à ces machines semble devoir exclure l'emploi d'un condenseur, qui entraîne toujours à certaines complications de mécanisme; d'ailleurs, l'évacuation dans la cheminée active le tirage, ce qui permet de réduire, dans une certaine mesure, les dimensions de la chaudière, qui est la partie la plus lourde et la plus encombrante de l'appareil moteur. Néanmoins, on trouve dans la marine anglaise un assez grand nombre de canots dont les appareils moteurs sont munis de condenseurs à surface. L'adjonction de cet organe permet une plus longue durée de

fonctionnement avec une provision déterminée d'eau, et fait disparaître le bruit strident produit par l'évacuation dans la cheminée. Ce dernier avantage peut être précieux dans une expédition de guerre entreprise pendant la nuit; mais on l'obtient maintenant à l'aide de l'installation de M. *Clément*, qui rend le canot silencieux (n° 32_3). D'ailleurs, dans le jour, cet avantage est bien diminué par cette circonstance que la fumée est beaucoup plus noire que lorsque l'évacuation se fait dans la cheminée.

L'hélice est naturellement le seul propulseur qui convienne à une embarcation. En raison de sa faible immersion, les dimensions du propulseur doivent être restreintes; dès lors, il est nécessaire que la vitesse de rotation soit considérable. Cette circonstance permet d'ailleurs d'employer des machines à un seul cylindre, dont la rotation peut être facilement régularisée à l'aide d'un volant de faibles dimensions. — L'emploi de deux hélices latérales conduit naturellement à dédoubler l'appareil moteur si l'on veut que les hélices soient indépendantes, ou à compliquer l'appareil unique si elles doivent être conjuguées, sans qu'il puisse en résulter, comme pour les grands bâtiments, une diminution sensible du tirant d'eau. Quant à la facilité d'évolution que procurent deux hélices indépendantes, elle est presque insignifiante sur un canot, et ne rachète pas le surcroît de poids et la complication de mécanisme qu'entraîne l'emploi de deux propulseurs. Les deux hélices latérales sont d'ailleurs très-exposées aux avaries, soit à cause des accostages fréquents, soit à cause des remorques, et une seule hélice est préférable.

Quant au type général des appareils moteurs, le système à pilon est sans contredit celui qui se prête le mieux à l'installation à bord; aussi est-il presque exclusivement employé par tous les constructeurs. — L'appareil évaporatoire doit être réduit à un minimum de poids et d'encombrement. Les chaudières qui remplissent le mieux ces conditions sont, en France, les chaudières *Belleville*, et en Angleterre, les chaudières cylindriques verticales, munies de tubes système *Field*. Cependant on rencontre, tant en France qu'en Angleterre, un assez grand nombre de canots munis de chaudières cylindriques tubulaires à retour de flamme, les tubes étant horizontaux, autour du ciel du foyer; mais ces chaudières sont plus lourdes et plus encombrantes que les premières. Dans tous les cas, quel que soit le type de générateur employé, la dépense de charbon s'écarte peu, pour les machines ordinaires à détente simple, de 3 kilog. par cheval de 75^{km} sur les pistons et par heure.

N° 32_3 Machines de canots ordinaires, à pilon à cylindre unique (à hélice), sans condensation : types de Claparède. Canots silencieux.—L'appareil représenté en *sect. 4, pl.* IV, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, représente le type de machine des canots de 10 mètres. Il ne comporte qu'un seul cylindre à pilon, menant une hélice placée dans l'axe de l'embarcation. Ce cylindre et le massif Sect. 4, Pl. IV.

qui forme les paliers de l'arbre de couche sont fixés sur l'arrière de la chaudière, et sont reliés l'un à l'autre par une double croix de Saint-André qui sert de bâti et qui forme la glissière. Le piston est plein et porte des rainures circulaires, dans lesquelles on introduit les bagues, en les ouvrant pour les mettre en place. Le pied de bielle est à fourche, d'une seule pièce, avec coussinets cylindriques noyés dans le métal; le tourillon est formé par un boulon qui se démonte pour visiter l'articulation. La tête de bielle est à chape. Le distributeur est un tiroir ordinaire en coquille, maintenu sur la plaque frottante par un petit ressort. Le mécanisme de renversement de marche est un secteur disposé comme dans les grands appareils, et qui se manœuvre au moyen d'un simple levier; ce levier se meut le long d'un arc sur lequel il peut être fixé au moyen d'une vis de pression, ou d'un verrou s'engageant dans des entailles pratiquées sur cet arc, de telle sorte qu'on peut maintenir le secteur à une suspension quelconque, et marcher, par suite, à divers degrés d'introduction. La tige du tiroir est munie d'un guide qui lui permet de résister aux efforts de réaction oblique du secteur. L'appareil est muni d'un volant pour régulariser le mouvement et faciliter le passage des points morts.

L'appareil évaporatoire est une chaudière cylindrique à un seul foyer, tubulaire à retour de flamme, avec les tubes sur les côtés du foyer. Cette chaudière est surmontée d'un réservoir cylindrique traversé par la cheminée, et qui sert de coffre à vapeur en même temps que de sécheur. Le tuyau de prise de vapeur du cylindre débouche au sommet de ce réservoir; on évite ainsi les projections d'eau qui, sans cette disposition, ne manqueraient pas de se produire au moindre roulis. En temps ordinaire, la vapeur amenée au cylindre est peu chargée d'eau. La cheminée a une faible hauteur; mais le tirage est activé par l'évacuation du cylindre, dont le conduit débouche dans l'axe de la cheminée. Outre la pompe alimentaire mue par la machine et dont le piston est conduit par un excentrique, il existe une pompe qui se manœuvre à la main, mais qui est remplacée, dans la plupart des cas, par un giffard. La chaudière est alimentée avec de l'eau douce contenue dans des réservoirs en tôle placés en abord, de chaque côté de la machine. — L'appareil moteur ne possède pas de pompe de cale; le plus souvent, c'est un petit giffard disposé à cet effet qui enlève l'eau de la cale.

La manœuvre de cette petite machine est très-simple. On ouvre d'abord le robinet de prise de vapeur, puis on porte le secteur à la suspension extrême qui correspond à la marche que l'on veut produire; dès que la machine est lancée, on rapproche un peu le secteur de sa demi-suspension pour ne pas occasionner des entraînements d'eau, et on ne le ramène que peu à peu à sa suspension extrême, ou à la suspension qui lui convient suivant l'allure adoptée. Quelquefois, la manivelle est arrêtée au point mort; il faut alors agir avec la main sur le volant, pour lui faire dépasser ce point. Lorsque la machine hésite à partir dans le sens du mouvement que l'on veut produire, on renverse la marche, et dès que la machine a fait un mouvement, on revient brusquement à la suspension extrême du secteur pour la marche commandée. Lorsqu'il faut stopper, on met le secteur à mi-suspension; mais il est souvent nécessaire, malgré la fermeture du robinet de prise de vapeur, ce robinet n'étant pas toujours étanche, de faire dépasser au secteur sa mi-suspension, comme si l'on voulait renverser la marche, quitte à le ramener dès que la machine est arrêtée.

Il existe un autre type monté sur les canots de 8^{m},50, et dans lequel la machine est isolée de la chaudière. Les deux paliers de l'arbre, le massif du palier de butée et deux bâtis triangulaires qui supportent le cylindre, sont du même jet de fonte : l'ensemble est fixé directement sur les carlingues du canot. Les bâtis sont placés l'un sur l'avant et l'autre sur l'arrière; ils sont évidés, au-dessus des paliers, pour permettre le démontage de l'arbre. Le piston est en acier et fait corps avec sa tige; ce piston porte trois rainures dans lesquelles s'engagent les bagues qui forment sa garniture. La tige se fixe sur une chape portant le tourillon du pied de bielle, et sur laquelle est rapporté un coulisseau qui embrasse une glissière rectangulaire fixée sur deux traverses venues de fonte avec les bâtis. Le pied et la tête de bielle sont simples; le pied de bielle est d'une seule pièce et la tête de bielle est à chape; le serrage s'effectue au moyen de clavettes. Les coussinets des paliers de l'arbre sont serrés de la même manière. — Le distributeur est un tiroir ordinaire en coquille, emprisonné dans un cadre en acier faisant corps avec la tige; ce tiroir est maintenu sur la bande du cylindre par un petit cadre compensateur qu'il entraîne, et qui est muni d'une garniture en caoutchouc. Le mécanisme de renversement de marche est un secteur formé de deux arcs parallèles et de même rayon, engagés

dans des rainures d'un coussinet mobile porté par l'extrémité de la tige du tiroir. Les pieds des bielles d'excentrique sont à fourche et embrassent le secteur; les tourillons sont rivés sur les arcs de cet organe, dont l'écartement est réglé par deux entretoises placées aux extrémités. La tige du tiroir est munie d'un guide fixé au bâti, et placé entre la boîte à tiroir et le secteur. Le levier de manœuvre se meut le long d'un arc muni d'une série de trous dans lesquels peut s'engager un goujon mobile porté par la poignée du levier, et que maintient en place un ressort. Cette disposition permet de placer le secteur à diverses suspensions pour faire varier le degré d'introduction. Le déclanchement est facile, parce que la main qui saisit la poignée du levier de manœuvre embrasse en même temps un petit levier qui dégage le goujon d'arrêt. — L'appareil n'est pas muni d'un volant, mais il existe des tourteaux d'embrayage pour l'arbre de l'hélice, qui en remplissent jusqu'à un certain point l'office. La butée porte quatre collets; elle est garnie d'antifriction. — La pompe alimentaire est à simple effet et à piston plongeur; elle est verticale, sur l'arrière de la machine, et accolée au bâti; son piston est conduit par un excentrique. Il existe d'ailleurs un giffard destiné à alimenter pendant les temps d'arrêt, et à suppléer au besoin la pompe alimentaire pendant la marche.

Ces appareils moteurs fonctionnent à l'eau douce, dont on prend une certaine provision dans des caisses convenablement disposées à côté de la machine. L'évacuation du cylindre se fait dans la cheminée et active le tirage. La vapeur est fournie, pour quelques machines, par des chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme; et pour les autres, par des chaudières Belleville. Ces petites machines fonctionnent à 300 tours à la minute. La manœuvre s'effectue de la manière que nous avons indiquée pour le type précédent.

Puissance indiquée		15^{ch} de 75^{km}
Introduction		0,765
Pression absolue aux chaudières		$6^{at},00$
Surface de grille par cheval indiqué	chaudières ordinaires	$1^{dm.c},33$
	chaudières Belleville	$1^{dm.c},94$
Surface de chauffe par cheval indiqué	chaudières ordinaires	$0^{m.c},3766$
	chaudières Belleville	$0^{m.c},3866$
Poids des chaudières avec leurs accessoires	chaudières ordinaires	3.452^{kg}
	chaudières Belleville	710^{kg}
Charbon dépensé par heure et par cheval de 75^{km} sur les pistons	chaudières ordinaires	$3^{kg},4$
	chaudières Belleville	$2^{kg},3$

Canot silencieux. — Au point de vue des expéditions de guerre à effectuer pendant la nuit, ou même pendant le jour, dans les rivières, il y a un grand intérêt à faire disparaître le bruit strident de l'évacuation dans la cheminée. On peut, dans ce but, employer un condenseur à surface; mais alors le tirage est notablement diminué, et il en résulte surtout un surcroît d'encombrement et de poids peu compatible avec la légèreté que doivent avoir les embarcations à vapeur. — M. *Clément*, ingénieur de la marine, a résolu le problème d'une manière fort simple, peu encombrante et peu coûteuse. Dans le système qu'il a imaginé, le cylindre évacue dans un réservoir en tôle mince, logé derrière la chaudière; le tuyau débouche vers la partie haute et se prolonge intérieurement par un coude qui projette la vapeur dans le fond, où elle abandonne l'eau qu'elle peut contenir; cette eau est enlevée de temps à autre au moyen d'un robinet de purge. La vapeur remonte dans ce réservoir, sort par un deuxième tuyau placé près du sommet, et se répand dans une couronne cylindrique qui entoure la cheminée. De cette couronne partent quatre tubulures qui pénètrent dans la cheminée en se recourbant verticalement, et qui sont terminées par des tuyères réparties autour de l'axe; la somme des sections de ces tuyères est égale à celle de la tuyère unique qui existait précédemment. — Le réservoir d'évacuation a pour effet de régulariser l'écoulement de la vapeur. La vitesse maximum de projection dans la cheminée est notablement réduite, d'où la suppression du bruit strident; mais la vitesse moyenne reste la même et le tirage est très-suffisant. Si avec ce système on ajoute une enveloppe à la cheminée, le canot est réellement silencieux, car le bruit de l'évacuation n'est pas plus sensible que le bruit propre de la machine elle-même.

N° 32. Machines de canots ordinaires, à pilon à cylindre unique (à hélice), sans condensation : types des Forges et chantiers de la Méditerranée et de Bourdon. — L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a construit un grand nombre de canots à vapeur pour passagers; cette usine a fourni la presque totalité de ceux qui sont employés par la Société centrale de sauvetage. Les appareils moteurs sont des machines ordinaires à pilon à un seul cylindre, adossé à la partie arrière d'une chaudière cylindrique qui lui sert de bâti. Ils développent environ 50^{ch} de 75^{km} à la vitesse de 280 tours, avec une pression absolue aux chaudières de 6^{at}.

M. *Bourdon*, constructeur mécanicien, à Paris, a produit un type de machine à un seul cylindre à pilon pour canot, qui présente quelques

particularités intéressantes. — La tige de piston est guidée par un double système de tringles articulées : un arbre horizontal est placé en abord des bâtis, un peu au-dessous de la mi-course de la traverse, et porte une petite manivelle verticale à chacune de ses extrémités; de chacune de ces manivelles part une bielle qui vient se fixer à l'extrémité de la traverse et vers le point extrême de sa course. Cette disposition n'est autre chose que le parallélogramme d'*Ollivier Ewans* (n° 53_4 du G[d] *Traité*), dans lequel le mouvement de glissière est remplacé par un léger mouvement d'oscillation à l'extrémité d'une manivelle. — Le tiroir et sa boîte sont d'un même jet de fonte, de sorte que la boîte est mobile comme le tiroir. Ce dernier a la forme d'un tiroir ordinaire en coquille; mais son dos est arrondi en forme d'ellipsoïde, et est séparé de la boîte par un canal dans lequel afflue la vapeur qui arrive par un orifice pratiqué sur la table du cylindre. Cette disposition a pour but d'équilibrer le tiroir. Ce dernier organe est d'ailleurs maintenu par une plaque fixée au cylindre par quatre entretoises, et qui porte une plaque de frottement serrée contre le dos du tiroir par deux vis de pas contraires, reliées par deux petits pignons, et qu'on serre par suite en même temps et de la même quantité. Le mécanisme de renversement de marche est un secteur. La boîte à tiroir est placée entre deux glissières latérales, et la tige du tiroir est guidée par une douille. — Le piston a la forme ordinairement adoptée pour ces petites machines; la tige se fixe dans un œil de la traverse. La bielle est à chape à ses deux extrémités; le pied de bielle est à fourche. La pompe alimentaire, placée sur le côté, est inclinée de bas en haut; elle est à simple effet et du système à piston plongeur; ce piston est conduit par un excentrique dont la bielle s'articule à l'extrémité d'une tige en fer engagée à frottement doux dans le piston plongeur, et maintenue sur ce piston par une clavette à poignée; cette disposition permet de déclancher la pompe.

N° 32_8 Machines de canots ordinaires (à hélice), sans condensation : types de Verey, de Harker, de Carret et Marchall et de Isaac Mason. — M. *Verey*, de *Portsmouth*, a construit un assez grand nombre d'appareils de 9 chevaux nominaux destinés aux chaloupes. Ces appareils comportent deux cylindres à pilon côte à côte, agissant sur l'arbre d'une hélice unique. Les bâtis et les colonnes qui supportent les cylindres sont en fer forgé; l'ensemble est très-élégant, d'une grande légèreté, et néanmoins très-solide. Les tiroirs, en coquille simple, sont placés sur l'avant et sur l'arrière des cylindres; ces tiroirs sont conduits par des secteurs. — La pompe alimentaire est horizontale et son piston est conduit par un bouton excentré du bout avant de l'arbre. — Les machines de ce type fonctionnent sans bruit et sans chocs, à une vitesse de rotation de 300 tours à la minute, et développent 24 chevaux indiqués.

Le type de M. *Harker*, de *Leeds*, comporte deux cylindres à pilon conduisant une seule hélice. Ces cylindres sont supportés par un bâti unique; les couvercles des cylindres sont venus de fonte avec ce bâti. Les glissières ont la forme ordinaire. Les tiroirs sont en coquille simple; ils sont placés

aux extrémités avant et arrière de la machine, et sont conduits par des secteurs. — Ce type est bien compacte et néanmoins accessible dans toutes ses parties.

Carret et *Marschal*, de *Leeds*, construisent des appareils alimentés par une chaudière cylindrique verticale du système *Field* (n° 61_1). Un seul cylindre à pilon, en bronze, est fixé sur l'arrière de la chaudière qui lui sert de bâti. Le tiroir est cylindrique et se compose de deux disques montés sur une tige creuse qui met les deux bouts de la boîte en communication; l'introduction se fait par les arêtes extérieures. Ce tiroir est conduit par un secteur formé d'un seul arc qui s'engage dans un coussinet porté par une petite chape qui termine la tige du tiroir. — Ces appareils fonctionnent à 17 atmosphères de pression absolue à la chaudière, et développent 25^{ch} de 76^{km}, avec une surface de chauffe d'environ $0^{m.c},20$ par cheval indiqué. — Les cylindres évacuent dans la cheminée.

M. *Isaac Mason*, de *Whitby* (*York*), a construit pour canot une machine à deux cylindres horizontaux à bielle directe conduisant une seule hélice. Les tiroirs sont entre les deux cylindres; ils sont mus par des excentriques à calage variable. Lorsqu'on veut renverser la marche, on change à la main la position de l'arbre de la machine par rapport aux excentriques, ce qui se fait facilement. Chaque tige de piston est guidée par deux barres de fer cylindriques fixées sur la chape de cette tige et passant dans des douilles dont la partie supérieure peut se démonter facilement, de sorte qu'en enlevant cette partie et le couvercle, on sort le piston avec facilité. Les fonds des cylindres sont peu accessibles, car ils sont adossés aux flancs de la chaloupe. La bielle avant a sa tête articulée sur une soie en porte-à-faux fixée sur un tourteau de l'extrémité de l'arbre. — La pompe alimentaire, horizontale, est placée à côté du cylindre arrière; elle est conduite par un excentrique.

N° 32_6 Machines de canots doubles ordinaires (à deux hélices), sans condensation ou avec condensation par surface : types de Penn, de Maudslay, de Rennie et de Chrichton. — *Penn* a construit des machines à deux paires de cylindres menant chacune une hélice. L'arbre n'est supporté que par deux paliers placés aux extrémités; l'intervalle qui existe entre les deux manivelles est réservé aux excentriques des tiroirs. Les paliers de l'arbre et les cylindres sont fixés sur les côtés de la chaudière, sans qu'il y ait entre eux aucun autre système de liaison. Les tiges de piston sont guidées par des douilles appartenant à des supports fixés à la chaudière, et les pieds de bielle ont des fourches très-allongées, comme dans certaines pompes à bras, parce que la traverse est fixée sur la tige, entre son guide et le cylindre. Les tiroirs sont placés entre les deux cylindres, dans une boîte commune; ils sont conduits par des secteurs. L'introduction est de 0,625 pour la marche à toute puissance; mais la détente peut être augmentée par le changement de suspension des secteurs. Chaque machine possède une pompe alimentaire dont le piston est conduit par un excentrique. Il

existe de plus un petit cheval destiné à fonctionner pendant les temps d'arrêt. — Pour des canots de 12m,80 de long, la puissance de ces machines est de 35ch de 75km; elles fonctionnent à une pression absolue à la chaudière de 6at, avec 1d.m.c,24 de surface de grille et 0m.c,30 de surface de chauffe par cheval indiqué. — La chaudière est cylindrique, verticale à tubes également verticaux. Les cylindres évacuent dans la cheminée.

Maudslay a construit pour l'amirauté un grand nombre de machines de canot à deux paires de cylindres menant deux hélices indépendantes. Ces appareils ressemblent, pour la disposition et la forme des bielles, à ceux du type *Penn* décrit ci-dessus. Les tiroirs sont aux extrémités; ils sont conduits par des secteurs. L'alimentation est assurée en marche par des pompes verticales renversées placées sur l'avant des machines, et dont les pistons sont conduits par des boutons excentrés. Pendant les temps d'arrêt, on alimente avec un petit cheval accolé à la boîte à fumée. La chaudière est cylindrique, tubulaire avec les tubes un peu en dessus et à la suite du foyer, comme sur les chaudières de locomotive. La puissance de ces appareils est de 40ch de 75km, avec une surface de grille de 1d.m.c,12 et une surface de chauffe d'environ 0m.c,25 par cheval indiqué. Les cylindres évacuent dans la cheminée.

Fig. 1, Pl. VI. Le type de *Rennie* est représenté en *fig.* 1, *pl.* VI; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Cet appareil comporte deux cylindres menant chacun une hélice; ces hélices sont indépendantes. Les machines sont accolées à la chaudière, sur laquelle les cylindres et les paliers de l'arbre sont fixés; ces cylindres et ces paliers sont reliés par deux entretoises cylindriques qui servent de glissière à la traverse du piston. Cet appareil présente ceci de particulier que, pour chaque cylindre, l'évacuation se fait dans un condenseur tubulaire dont les tubes sont entourés par l'eau froide que refoule une pompe centrifuge mue par la machine elle-même, au moyen d'une transmission à courroie. Le poids total de l'appareil est de 3.700kg, dépassant de 400kg celui des machines sans condensation; mais il y a en approvisionnement une moins grande quantité d'eau, ce qui fait compensation. — Le condenseur, sur lequel on ne compte pas beaucoup pour augmenter la puissance de la machine, offre d'ailleurs deux avantages assez importants : il permet de marcher plus longtemps avec un approvisionnement déterminé d'eau, et fait disparaître le bruit que produit l'évacuation dans la cheminée, et qui signale au loin la présence du canot. Toutefois, lorsque l'évacuation se fait dans le condenseur, le tirage est moins actif et la combustion plus imparfaite. Aussi, une disposition particulière du tuyautage permet d'évacuer dans la cheminée toutes les fois qu'on n'a pas à craindre de signaler la présence du canot, et que l'approvisionnement d'eau permet ce mode de fonctionnement. — Une disposition particulière du tuyautage permet d'évacuer aux condenseurs, pendant les temps d'arrêt, une partie de la vapeur de la chaudière, pour éviter les pertes d'eau douce et le bruit résultant du fonctionnement des soupapes de sûreté. — La traverse de chaque piston conduit directement une pompe à air à simple effet et à

piston plongeur, qui enlève l'eau douce du condenseur et l'amène dans des caisses où puisent les petits chevaux destinés à assurer l'alimentation des chaudières. Par ailleurs, ces appareils diffèrent peu des types déjà décrits; la tige du piston porte une fourche sur laquelle est fixée la traverse; cette dernière porte à ses extrémités des douilles qui lui servent de coulisseau sur les deux entretoises cylindriques qui constituent la glissière. Le pied et la tête de bielle sont simples; cette dernière articulation est à palier. — La chaudière ne comporte qu'un seul foyer; elle est tubulaire et à retour de flamme.

Les appareils construits par M. *Chrichton* pour les chaloupes des bâtiments de la marine anglaise, le *Lord Clyde* et le *Cambridge*, sont à deux hélices, conduites chacune par une machine à deux cylindres fixée sur la chaudière. Les tiroirs sont placés entre les cylindres. Les tuyaux d'évacuation traversent le fond de l'embarcation et longent la quille sur une longueur de $4^m,27$. Ils retournent alors sur eux-mêmes, et à l'extrémité d'une longueur de $4^m,90$, rentrent dans le bâtiment et vont s'adapter au fond de petites pompes à air conduites par des excentriques fixés sur les arbres des hélices. Au moyen de cet agencement, on a obtenu un vide de 60 centimètres en fonctionnant à $4^{at},66$ de pression absolue à la chaudière. Avant l'application de cet appareil de condensation, on avait, en eau d'approvisionnement et caisses renfermant cette eau, un poids de 1977^{kg}, et l'espace occupé dans la cale était de $1^{m.cub},132$. Le poids de l'appareil condensant actuel est de 200^{kg}, et l'espace occupé à bord inappréciable. Sur les chaloupes à une seule hélice, l'appareil est simplifié en ce sens que le tuyau longe la quille d'un côté, la traverse au bout pour retourner, en la longeant de l'autre côté, s'adapter à la pompe à air. Les pompes alimentaires sont conduites par des boutons excentrés placés à l'extrémité des autres moteurs.

N° 32_7 Machines de canots Woolf, à pilon à une paire de cylindres bout à bout ou côte à côte (à hélice), avec condensation par surface : types des forges et chantiers de la Méditerranée. — L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a fait une première application du système Woolf avec condenseur a surface, sur le canot *le Robuste*, qui fait le service de remorqueur aux chantiers de la *Seyne*. L'appareil comporte deux cylindres à pilon bout à bout, avec points morts communs. Ces deux cylindres sont pourvus d'enveloppes de vapeur; toutes les purges aboutissent au condenseur. Le cylindre détendeur est placé au-dessous du cylindre admetteur, et est supporté par un condenseur tubulaire, placé à bâbord, et par deux colonnes en fer placées à tribord. Le tout repose sur une plaque de fondation qui porte deux paliers pour l'arbre de couche. Les deux pistons sont montés sur une tige commune dont la traverse porte deux tourillons pour le pied à fourche de la grande bielle; toutes les articulations de la bielle sont à palier. La traverse porte un coulisseau qui glisse sur une barre rectangulaire fixée au condenseur et à la plaque de fondation; ce coulisseau est muni d'une sous-garde en fer, qui embrasse la glissière et qui

porte deux bras par l'intermédiaire desquels la pompe à air et la pompe de circulation sont mises en mouvement.

Les tiroirs sont en coquille simple; ils sont placés sur l'avant des cylindres, à la suite l'un de l'autre sur une tige commune, mais dans des boîtes séparées. Ces tiroirs sont conduits par deux excentriques avec un secteur Stephenson formé d'une seule barre qui s'engage dans un coussinet à rotule porté par l'extrémité inférieure de la tige des tiroirs. Cette même extrémité de la tige porte un coulisseau qui s'engage dans une glissière à savate, fixée sur le cylindre détendeur. — Un tuyau met en communication le conduit d'évacuation du cylindre admetteur avec la boîte à tiroir du cylindre détendeur. — Un deuxième tuyau, muni d'un robinet, permet d'introduire directement la vapeur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, pour assurer le départ de la machine lors de la mise en marche.

Le condenseur, placé à bâbord, a les tubes verticaux; la vapeur contourne ces tubes et l'eau de circulation les traverse de bas en haut. La jonction des tubes sur les plaques de tête est faite au moyen de petits presse-étoupe à chapeau annulaire (n° 48_8). Il existe une injection directe qui permet de liquéfier la vapeur que peut contenir le condenseur au moment de la mise en marche. — La chambre à vapeur et la chambre à eau du condenseur sont mises en communication par un petit tuyau muni d'un robinet, ce qui permet de réparer les pertes d'eau douce. — La pompe à air et la pompe de circulation sont verticales et logées dans la plaque de fondation, la première sur l'avant et la seconde sur l'arrière. Les pistons de ces pompes sont conduits directement par deux bras de la sous-garde du coulisseau de la tige commune aux deux pistons moteurs. La pompe à air refoule dans des caisses qui servent de réservoir d'eau douce et dans lesquelles puise la pompe alimentaire. Il existe d'ailleurs une décharge accidentelle qui débouche un peu au-dessus de la flottaison. — La pompe alimentaire est verticale renversée et à piston plongeur; cette pompe est accolée à la partie arrière du cylindre détendeur, et son piston est conduit par un excentrique monté sur l'arbre moteur. — La vapeur est fournie par une chaudière cylindrique à un seul foyer, tubulaire avec retour de flamme; cette chaudière fonctionne sans tirage forcé. Pendant les temps d'arrêt, on alimente avec un giffard.

Puissance indiquée		43^{ch} de 75^{km}
Introduction	cylindre admetteur	0,65
	cylindre détendeur	0,70
	effective, comparativement à une machine à détente simple	0,20
Pression absolue à la chaudière		$7^{kg},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km}	de grille	$2^{dm.c},00$
	de chauffe	$0^{m.c},3800$
	refroidissante	$0^{m.c},2500$
Charbon dépensé par cheval indiqué de 75^{km} et par heure		$1^{kg},330$

L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a fait une deuxième application du système Woolf avec condenseur à surface sur la chaloupe *le Tamaris* qui fait un transport de passagers sur la rade de Toulon. — L'appa-

reil moteur comporte deux cylindres à pilon, placés côte à côte dans le sens de l'axe, solidement boulonnés l'un à l'autre et supportés par quatre colonnes en fer fixées sur une plaque de fondation. Les deux pistons ont même course, mais les diamètres sont différents; ces pistons agissent sur des manivelles calées à angle droit. Le cylindre admetteur est sur l'avant, le cylindre détendeur sur l'arrière ; à ce dernier cylindre se trouve accolé le condenseur, qui repose d'autre part sur la plaque de fondation. — Les glissières de tige de piston sont des barres prismatiques, fixées aux cylindres et à la plaque de fondation, à bâbord de l'axe, c'est-à-dire du côté du condenseur. Les coulisseaux embrassent ces glissières; chacun d'eux fait corps avec la traverse correspondante qui reçoit la tige de piston. Les pieds de bielle sont à fourche et à palier; les têtes de bielle sont simples et également à palier. Le coulisseau du cylindre admetteur se prolonge derrière la glissière et porte deux bras qui conduisent, l'un la pompe à air et l'autre la pompe de circulation. — La plaque de fondation, d'un seul jet de fonte porte trois paliers pour l'arbre de couche; elle forme à bâbord le réservoir à eau douce du condenseur, et contient le cylindre de la pompe à air et celui de la pompe de circulation.

Les tiroirs sont placés aux extrémités avant et arrière de la machine. La vapeur qui évacue le cylindre admetteur contourne d'abord la moitié de ce cylindre en passant dans un canal venu de fonte avec sa paroi; elle s'engage ensuite dans un canal semblable venu de fonte avec la paroi du cylindre détendeur, qui l'amène dans la boîte à tiroir de ce cylindre. Un petit tuyau muni d'un robinet permet d'introduire directement la vapeur de la boîte à tiroir du cylindre admetteur dans le canal d'évacuation de ce cylindre, pour faciliter la mise en marche. — Les distributeurs sont des tiroirs en coquille ordinaires appliqués sur la bande du cylindre par des ressorts; ils sont conduits par des secteurs qui ont un arbre commun de changement de suspension; cet arbre est porté par deux petits paliers fixés aux colonnes de tribord et se manœuvre par un simple levier. — Les tiges de tiroir n'ont pas d'autre guide que leur presse-étoupe; mais les distributeurs sont munis d'une contre-tige qui traverse un guide sans presse-étoupe situé sur la partie supérieure de la boîte à tiroir; les contre-tiges sont recouvertes par un petit chapeau en bronze fixé par un joint étanche sur cette boîte.

Le condenseur est placé verticalement à bâbord du cylindre détendeur; la vapeur contourne les tubes et l'eau refroidissante les traverse de bas en haut. Le joint des tubes sur les plaques de tête est obtenu au moyen de petits presse-étoupe creusés dans ces plaques de tête, et contenant une petite rondelle de caoutchouc serrée par un écrou taraudé sur la plaque même (n° 48_8). Le réservoir à eau douce du condenseur fait partie de la plaque de fondation; un petit tuyau muni d'un robinet met en communication ce réservoir avec la chambre à eau du condenseur et sert pour réparer les pertes. — La pompe à air et la pompe de circulation sont noyées dans la plaque de fondation. — La pompe à air est aspirante élévatoire à simple effet; elle envoie l'eau douce dans une caisse ouverte à l'air libre et où puise la pompe alimentaire. — La pompe de circulation

est à double effet; elle agit par refoulement à travers les tubes du condenseur. — La pompe alimentaire est à piston plongeur et à simple effet avec des clapets sphériques ; elle est horizontale et placée sur l'avant à bâbord, contre la plaque de fondation. Son piston est conduit directement par une bielle articulée, d'un côté sur ce piston et de l'autre sur un bouton excentré du bout de l'arbre.

La vapeur est fournie par une chaudière cylindrique à un seul foyer, tubulaire à retour de flamme, et surmontée d'un réservoir de vapeur également cylindrique. Cet appareil évaporatoire fonctionne sans tirage forcé. — Un petit giffard sert pour alimenter pendant les temps d'arrêt.

Cet appareil fonctionne d'une manière très-régulière à l'allure de 210 à 220 tours à la minute; il tient un peu plus de place qu'une machine ordinaire à un seul cylindre, mais cet inconvénient est largement compensé par l'économie de combustible qui résulte de son emploi. — Grâce au petit robinet d'introduction directe dans le cylindre détendeur, la manœuvre est toujours facile et les mises en marche s'effectuent rapidement.

Puissance indiquée		30^{ch} de 75^{km}
Pression absolue à la chaudière		$5^{at},00$
Surface par cheval indiqué de 75^{km}	de grille	$2^{dm.c},66$
	de chauffe	$0^{m.c},4166$

CHAPITRE III.

DISPOSITIONS RÉCENTES SE RENCONTRANT DANS LES ORGANES ET PIÈCES DIVERSES DES MACHINES MARINES.

CHAP. III, § 1er. — Cylindres a vapeur et accessoires, distributeurs et mises en marche. Détentes variables.

N° 33. — 1. Dispositions pour prévenir la détérioration des cylindres à haute pression. Emploi de l'antifriction pour les barrettes des tiroirs et les garnitures de piston. — Modes récents de serrage des garnitures de piston. — 2. Orifices et conduits d'évacuation des cylindres dans les Machines Woolf. — 3. Soupape de sûreté, purgeurs et enveloppes de cylindre. Réchauffeur de grand piston. — 4. Réservoir intermédiaire pour machines Woolf. — 5. Systèmes récents pour serrage et garniture de presse-étoupe. Garnitures autolubrifiantes.

N° 33_1 Dispositions pour prévenir la détérioration des cylindres à haute pression. Emploi de l'antifriction pour les barrettes des tiroirs et les garnitures de piston. — Modes récents de serrage des garnitures de piston. — Dans les machines horizontales, le poids du piston est souvent une cause de détérioration de la partie inférieure du cylindre; il peut même arriver, si on ne prend des précautions à cet égard, qu'à la suite de l'usure des bagues ou de l'insuffisance du bandage des ressorts, la lèvre du piston porte contre cette partie du cylindre et y creuse des rainures profondes. On évite cet inconvénient par l'emploi de contre-tiges, les presse-étoupe étant munis de coins de réglage qui permettent de maintenir l'axe du piston dans l'axe du cylindre. Mais l'emploi des contre-tiges de piston n'est pas toujours possible en raison de l'espace restreint réservé au moteur. Pour éviter le contact de la lèvre du piston avec la partie inférieure du cylindre, les bagues qui forment la garniture sont généralement munies de

talons intérieurs sur lesquels le piston repose; quelquefois, c'est le piston lui-même qui porte des talons par l'intermédiaire desquels il appuie sur les bagues. Le plus souvent, il existe deux paires de talons superposés et emboîtés l'un dans l'autre, comme un sabot dans une glissière à rebords; l'un des talons de chaque paire est porté par le piston et l'autre par la bague métallique; on insère entre les deux une clavette en coin que l'on enfonce de la quantité suffisante pour ramener, quand il y a lieu, l'axe du piston dans l'axe du cylindre. On voit une de ces installations sur la *fig.* 3, *sect.* I, *pl.* III. Cette disposition ne diminue pas la valeur du frottement qui se fait sentir dans la partie inférieure du cylindre; elle empêche seulement la lèvre du piston de venir en contact avec la surface de cet organe.

Le graissage des cylindres dans lesquels on fait travailler de la vapeur à haute pression et surtout de la vapeur surchauffée est très-difficile, sinon impossible. Les matières lubrifiantes se décomposent sous l'influence de la haute température qui règne alors dans le cylindre, les parties frottantes restent constamment sèches et il ne tarde pas à se produire des grippures considérables. Ces grippures occasionnent des fuites de vapeur qui vont sans cesse en augmentant, et le cylindre peut être mis hors de service. Ce grave inconvénient s'est déjà manifesté plusieurs fois, même dans des cylindres fonctionnant à moyenne pression, mais avec de la vapeur surchauffée. — Pour prévenir un état de choses aussi désavantageux, la surchauffe a dû être réduite à de faibles élévations de température; actuellement, on cherche moins à surchauffer la vapeur qu'à la dépouiller complétement de l'eau qu'elle tient en suspension à sa sortie de la chaudière. De la sorte, ce fluide arrive aux cylindres dans un état très-voisin de son point de saturation; il est par suite moins apte à décomposer les matières lubrifiantes. Par ailleurs, afin d'éviter les condensations intérieures, les cylindres sont munis d'enveloppes de vapeur réchauffante (n° 33_8).

Un moyen généralement employé aujourd'hui pour prévenir la détérioration des cylindres consiste dans l'emploi du métal *antifriction* (n° 127_6 du *G^d traité*) avec lequel on recouvre les bagues de garniture des pistons, ainsi que les barrettes des tiroirs. Ce métal a l'avantage de donner peu de frottement; il s'écrase facilement sans trop s'échauffer; enfin, c'est toujours lui qui supporte la plus grande partie, sinon la totalité, des grippures qui se produisent, ce qui n'est pas un grave inconvénient, eu égard à la facilité avec laquelle ce

métal peut être remplacé, soit par voix de coulée, soit par voie de soudure au fer. On préserve ainsi de toute avarie grave la surface intérieure des cylindres et des tables frottantes de ces organes. — Les bagues de garniture de piston qui doivent recevoir l'antifriction ont un diamètre de 12 à 15 millimètres plus faible que celui du cylindre. Ces bagues sont mises sur le plateau d'une raboteuse circulaire ou d'un grand tour à chariot, dont l'outil creuse dans leur épaisseur, en suivant le contour extérieur, trois ou quatre rainures parallèles et en queue d'aronde de 5 à 6 millimètres de profondeur. On creuse également, avec une machine à mortaiser, des rainures de mêmes dimensions dans le sens des génératrices en les espaçant suffisamment pour ne pas compromettre la solidité du métal qui reste en saillie. La bague est ensuite placée dans un moule de fonderie, et chauffée avec du charbon de bois jusqu'à ce que sa température soit voisine de celle du point de fusion de l'antifriction; on opère alors la coulée. — On fait une opération semblable pour garnir d'antifriction les barrettes des tiroirs; les rainures sont creusées de distance en distance dans le sens de la longueur et dans le sens de la largeur; mais on leur donne la forme en queue d'aronde pour qu'elles maintiennent mieux l'antifriction. Les surfaces extérieures sont dressées lorsque les pièces sont complétement refroidies. — Les parties destinées à recevoir l'antifriction doivent être parfaitement décapées, quelquefois même, pour plus de sûreté, on les étame (n° 127_7 du *G^d traité*); mais cette opération est généralement inutile avec du métal neuf ou fraîchement travaillé.

Ajoutons que quelquefois les tables des cylindres ont leur partie frottante rapportée, ce qui permet de remédier à tout accident qui pourrait survenir, sans que le mauvais état de la table du cylindre puisse mettre cet organe lui-même hors de service. La plaque rapportée est en fonte ou en bronze; elle est tenue par des vis à tête fraisée et noyée. On emploie depuis peu, en Angleterre, pour la fabrication des tables des cylindres, un alliage connu sous le nom de *bronze phosphoreux* qui donne de très-bons résultats. On l'emploie aussi pour les coussinets de fort diamètre. Les parties composantes sont le cuivre, l'étain et le phosphore; la proportion de ces matières détermine le degré de dureté et de malléabilité. Lorsque la proportion de phosphore excède 0,5 p. 100, la couleur ressemble assez à celle de l'or mélangé avec une forte dose de cuivre. Le grain de la cassure se rapproche de celui de l'acier; l'élasticité est considéra-

blement accrue; la résistance absolue sous une charge fixe est plus que doublée; enfin, la dureté peut être tellement augmentée que certains alliages sont difficilement attaqués par la lime. En variant la dose de phosphore, les particularités caractéristiques de ce métal peuvent être modifiées à volonté.

On commence aussi à employer, en Angleterre, du *bronze-manganèse* dont la cassure est à texture homogène à grains fins et serrés, semblable à celle des meilleurs aciers. Ce nouveau métal se soude facilement au rouge; il est très-ductile et très-malléable. Il peut être fondu et forgé; dans ce dernier cas, sa résistance est peu inférieure à celle des aciers doux. Sa couleur est celle du meilleur bronze à canon, avec un éclat un peu plus brillant et doré.

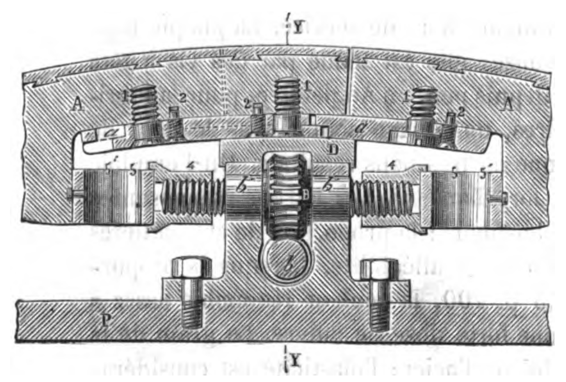
Enfin, dans toutes les machines de *Thornycroft* (n° 28_7) et de *Perkins* (n° 28_{14}), le métal des bagues de piston est formé d'un alliage de 5 parties d'étain et de 4 de cuivre, qui s'accommode très-bien d'un très-faible graissage. Les tiroirs sont garnis avec ce bronze quand ils ne sont pas entièrement de ce métal.

Modes récents de serrage des garnitures de piston. — Les *fig.* 1 et 2 représentent les dispositions adoptées pour le serrage des bagues des pistons du *Tourville*, dont les machines ont été construites par les *forges et chantiers de la Méditerranée.*

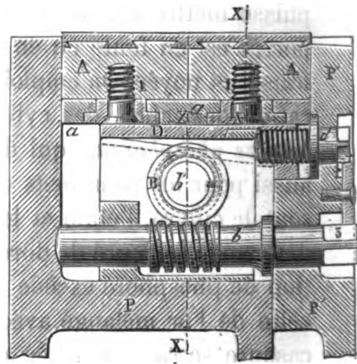
Pour les grands pistons P, *fig.* 1, il existe une bague unique A, dont les deux bouts sont endentés en forme de ⅃⌐ : les lignes de jonction sont recouvertes par un cache-joint *a*, en deux parties glissant l'une sur l'autre

Fig. 1. — *Serrage des garnitures des grands pistons.* — Échelle 1/6.

Vue 1°, coupe suivant XXX, vue 2°.



Vue 2°, coupe suivant YY, vue 1°.



et tenues par six vis 1, 1, ..., munies des freins à vis 2, 2, ... — L'écartement des extrémités des bagues se fait au moyen d'un appareil qui présente les dispositions suivantes : une roue hélicoïde B est actionnée par une vis sans fin *b*, dont les paliers sont rapportés sur le piston ; une des extrémités de la vis *b* s'appuie contre la lèvre du piston ; l'autre extrémité porte une embase emprisonnée par la couronne P'; une partie cylindrique traverse cette couronne et se termine par un carré 3, sur lequel se monte la clef de manœuvre. Les tourillons *b'* qui portent la roue B sont prolongés par des parties taraudées, l'une à gauche, l'autre à droite, et s'engagent dans les écrous 4, 4, dont les extrémités forment mâchoire pour embrasser les ressorts paraboliques 5, 5. Des ressorts semblables 5', 5' sont fixés, par de petits goujons, sur la bague du piston. En agissant sur la vis *b*, les parties taraudées de *b'* repoussent leurs écrous 4, et ceux-ci font appuyer les ressorts 5 et 5' l'un contre l'autre ; la tension de ces derniers appuie la bague contre la paroi du cylindre.

Il existe un serrage spécial pour la partie supérieure de la bague, là où est le cache-joint. Un coin D, capelé sur le palier de la roue B, et évidé pour laisser le passage libre à cette roue, est actionné par une vis *d*, dont l'embase est emprisonnée entre le palier de B et la couronne P' du piston. Cette vis a une partie cylindrique qui traverse la couronne P' et qui se termine par un carré sur lequel se monte la clef de manœuvre. Le coin D prend son point d'appui sur le palier de B, et repousse les bouts de la bague contre la partie supérieure de la paroi du cylindre.

Ajoutons que le piston porte sur la bague, à la partie inférieure, au moyen d'un talon qui embrasse un quart de cercle environ. Sur chaque côté, la garniture est serrée par trois ressorts disposés comme sur les petits pistons (*fig.* 2).

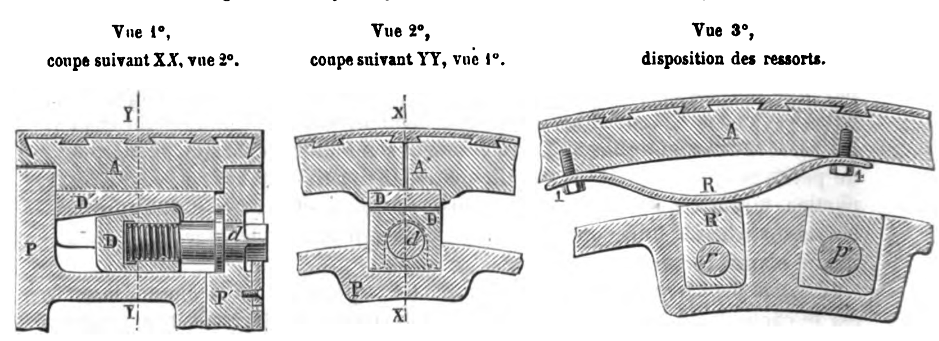
Le genre de serrage dont il vient d'être question assure un très-bon portage de la garniture contre la paroi du cylindre ; mais il faut agir avec beaucoup de précaution sur les vis, pour ne pas déterminer un frottement exagéré. Il ne faut pas d'ailleurs perdre de vue que, pour les machines Woolf, le serrage des bagues de piston doit toujours être modéré, parce que les fuites sont moins à craindre que dans les machines à détente simple, en raison de la faible différence entre les pressions qui agissent sur les deux faces des pistons.

Le serrage des petits pistons appliqué par les *forges et chantiers de la Méditerranée* sur les machines du *Tourville*, est représenté par la *fig.* 2. La bague unique A est serrée à la partie supérieure par le système de coins D, D', *d*, qui fonctionne comme celui des grands pistons, en s'appuyant sur le corps P du piston. Sur les côtés, la bague est appliquée contre le cylindre par des ressorts paraboliques R, dont les extrémités sont fendues pour recevoir les vis 1, 1. Ces ressorts sont bandés par un système de coins R', manœuvrés par des vis *r*, disposées comme la vis *d*. Les coins R'

sont logés dans l'épaisseur de la carcasse du piston. — *p'* représente une vis de serrage de la couronne P'. — Le piston s'appuie d'ailleurs sur le bas de la garniture par l'intermédiaire d'un fort talon.

Fig. 2. — *Serrage des garnitures des petits pistons.* — Échelle 1/6.

Vue 1°, coupe suivant XX, vue 2°. Vue 2°, coupe suivant YY, vue 1°. Vue 3°, disposition des ressorts.



N° 33₂ Orifices et conduits d'évacuation des cylindres dans les machines Woolf. — Dans les machines ordinaires, on réduit au strict nécessaire les volumes des orifices des cylindres et des espaces neutres, parce que ces volumes se remplissent de vapeur à chaque coup de piston, et que cela constitue une dépense hors de proportion avec la faible élévation de pression qui résulte, pendant la détente naturelle, de la présence de cette vapeur dans le cylindre. La dépense de vapeur qui correspond aux volumes des orifices et des espaces neutres nécessite un accroissement de production aux chaudières, et toute réduction de ces volumes doit avoir pour conséquence une élévation de la pression initiale, si la production aux générateurs reste la même. D'un autre côté, les surfaces qui circonscrivent ces volumes se refroidissent comme celles du cylindre et du piston, pendant la communication avec le condenseur, pour s'échauffer pendant l'introduction aux dépens de la vapeur, et augmentent ainsi la quantité de ce fluide qui est condensée dans le cylindre. Il y a donc avantage, à tous les points de vue, à réduire au strict nécessaire les volumes en question.

Il en est de même pour les machines Woolf. Le cylindre détendeur se trouve à très-peu près dans les mêmes conditions qu'un cylindre ordinaire fonctionnant à basse pression, et le plus souvent, comme si la vapeur était étranglée par un registre. Il importe donc de réduire autant que possible les volumes de ses orifices et de ses espaces neutres. — Quant au cylindre admetteur, la perte de vapeur résultant du volume des orifices existe toujours par le fait des refroidissements occasionnés par les parois de ces conduits ; mais elle a une importance moindre, non-seulement parce que la différence des températures d'évacuation et d'introduction est plus faible, mais aussi parce que la vapeur qui remplit ces orifices travaille dans le cylindre détendeur avant d'être évacuée au condenseur.

Dans la plupart des cas, les cylindres des machines Woolf sont desservis par des tiroirs des systèmes connus, en D ou en coquille, placés dans des boites séparées. Le conduit d'évacuation du cylindre admetteur débouche dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, absolument comme le ferait un tuyau venant directement de la chaudière. Il résulte de cette disposition générale qu'il existe toujours un certain volume, plus ou moins grand, d'espace neutre entre le cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant. La vapeur que renferme cet espace neutre augmente de volume comme celle du cylindre détendeur, tant que l'orifice d'introduction de ce dernier cylindre est ouvert, et la pression ainsi que la température de cette vapeur diminuent. A l'évacuation suivante du cylindre admetteur, la vapeur qui sort de ce cylindre pénètre dans un espace relativement considérable, où elle doit élever la température et la pression de la vapeur que cet espace renferme, avant de pouvoir travailler utilement sur le piston du cylindre détendeur. Il en résulte une diminution de la pression initiale au cylindre détendeur, qui est encore accrue par le refroidissement extérieur des parois du volume de communication des deux cylindres. Finalement, la pression moyenne dans le cylindre détendeur est plus faible, et quoiqu'il en soit de même de la contre-pression dans le cylindre admetteur, il y a perte de travail moteur. Nous allons expliquer ce fait.

Supposons que la paroi de l'espace neutre soit réchauffée par une enveloppe de vapeur et qu'on n'ait pas à tenir compte des variations de température. Soient :

v Le volume du cylindre admetteur.
P La pression de la vapeur renfermée dans ce volume.
V′ Le volume de l'espace neutre entre les deux cylindres.
V Le volume du cylindre détendeur.
p La pression de la vapeur renfermée dans le volume $V + V'$, en faisant abstraction de la détente naturelle dans le cylindre détendeur.

Lorsque le régime de marche est établi, le poids de vapeur dépensé à chaque coup de piston par le cylindre détendeur, est juste égal au poids de vapeur que chaque période d'évacuation du cylindre admetteur déverse dans l'espace neutre entre les deux cylindres. Au moment de l'évacuation du cylindre admetteur, les fluides contenus dans les volumes v et V′ se mélangent, et, d'après la loi de *Bertholet*, ces fluides prennent au volume $v + V'$ une pression commune qui a pour valeur $\frac{vP + V'p}{v + V'}$.

A la fin de l'évacuation du cylindre admetteur, la vapeur occupe le volume $V' + V$ à la pression p, et l'on a, d'après la loi de *Mariotte* :

$$(V' + V)p = \frac{(v + V')(vP + V'p)}{v + V'},$$

d'où l'on tire $Vp = vP$. C'est-à-dire qu'une fois le régime de marche établi,

la pression finale du cylindre détendeur est indépendante du volume de l'espace neutre entre les deux cylindres, et, abstraction faite des refroidissements, cette pression finale a même valeur que si l'espace neutre en question n'existait pas. Ceci établi, considérons la pression initiale dans le cylindre détendeur qui a pour valeur :

$$\frac{vP + V'p}{v + V'} = P - \frac{P - p}{\frac{v}{V'} + 1}.$$

Comme p est constant tant que P ne change pas, la pression initiale dans le cylindre détendeur sera d'autant plus faible que V' sera plus grand. Il en sera de même des pressions successives que prendra la vapeur pendant la marche du piston du cylindre détendeur, en remarquant toutefois que l'influence du volume V' diminue à mesure que le piston avance, pour être nulle à la fin de course. Le volume de l'espace neutre entre les deux cylindres a donc pour effet de diminuer la pression dans le cylindre détendeur, pendant toute la durée de l'introduction de ce cylindre. La loi de cette diminution de pression serait donnée par la différence entre les ordonnées correspondantes prises sur la courbe de détente du volume v de vapeur à la pression P, passant au volume V à la pression p, et sur la courbe de détente du volume $v + V'$ de vapeur à la pression $\frac{vP + V'p}{v + V'}$, passant au volume $V' + V$ et à la pression p; les deux courbes étant d'ailleurs rapportées sur la course du piston du cylindre détendeur.

La contre-pression sur le piston du cylindre admetteur subit aussi l'influence du volume de l'espace neutre entre les deux cylindres, et la diminution de cette contre-pression suit la même loi que la diminution de pression dans le cylindre détendeur. Ce que l'on gagne sur la contre-pression du cylindre admetteur est juste égal, par unité de surface, à ce que l'on perd sur l'effort moyen du cylindre détendeur; mais en raison de la plus grande étendue de la surface du piston de ce dernier cylindre, il en résulte finalement une perte de travail moteur.

L'hypothèse d'une température constante ne peut être réalisée en pratique, et la perte de travail moteur signalée ci-dessus est encore augmentée par les refroidissements de la vapeur dans les espaces neutres, et par la rapidité du mouvement de l'appareil moteur, qui fait que l'égalité de pression n'a pas le temps de s'établir dans toute l'étendue des volumes en communication. Les courbes d'indicateur montrent en effet que, si les espaces neutres sont considérables et le mouvement de rotation rapide, il y a une différence sensible entre la contre-pression du cylindre admetteur et la pression initiale dans le cylindre détendeur. Dans les meilleures machines Woolf, cette différence vaut en moyenne 0,15 de la pression initiale d'évacuation au cylindre admetteur (n° 7_{11}), soit environ un quart d'atmosphère. Il importe donc de réduire au strict nécessaire le volume d'évacuation des cylindres admetteurs.

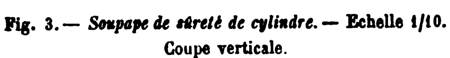
Dans les machines Woolf à points morts discordants (n° 10), l'espace neutre, réduit à de justes proportions, est nécessaire pour éviter une trop forte compression dans le cylindre admetteur au moment où l'introduction du cylindre détendeur cesse. Il n'en est pas de même dans les machines à points morts concordants, et quelque faible que puisse être en pratique le volume de cet espace neutre, il est toujours suffisant pour parer aux inconvénients qui pourraient résulter de ce que l'évacuation du cylindre admetteur et l'introduction du cylindre détendeur ne s'ouvrent pas et ne se ferment pas rigoureusement en même temps.

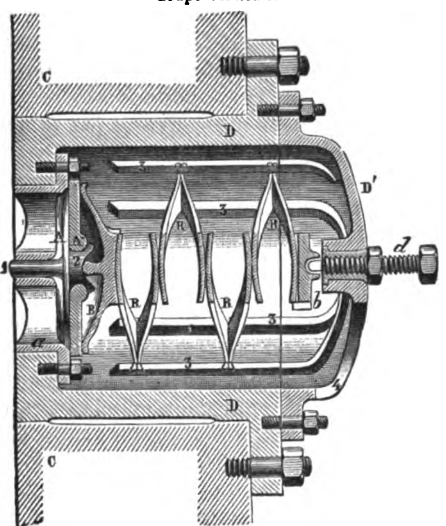
Les dispositions adoptées pour réduire les volumes des conduits de communication entre les cylindres des machines Woolf à points morts concordants, varient avec le type de machine que l'on considère. On rapproche toujours autant que possible les boîtes à tiroir, en ne donnant à ces dernières, et surtout à celle du cylindre détendeur, que la capacité strictement nécessaire au bon fonctionnement du distributeur. — Dans quelques cas particuliers, il est possible, sans augmenter démesurément le volume des orifices, de faire distribuer la vapeur dans les deux cylindres par un tiroir unique ainsi que le représente la *fig.* 2, *pl.* VI, pour deux cylindres l'un dans l'autre. L'espace neutre entre les deux cylindres est ici réduit au volume du conduit E_1, pratiqué dans l'épaisseur du tiroir; mais cette disposition exige une régulation particulière pour le cylindre détendeur, dont il est parlé au n° 34_2. — Lorsque chaque cylindre a son tiroir particulier, le volume du conduit d'évacuation du cylindre admetteur, réduit autant que possible, est toujours en pratique plus que suffisant. On cherche alors à combattre l'influence de ce volume en l'entourant d'une chemise de vapeur, de telle sorte que ses parois soient toujours à une température plus élevée que celle du fluide qu'il renferme, ce qui produit les bons résultats expliqués au n° 33_3.

N° 33_3 Soupape de sûreté ; purgeurs et enveloppe des cylindres. — Réchauffeur de grand piston. — Les soupapes de sûreté des cylindres ont reçu peu de modifications; la *fig.* 3 représente le dernier type appliqué par l'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* sur les machines du *Tourville*.

Le bouchon D se fixe sur le couvercle ou sur le fond C du cylindre qui est percé pour le recevoir. Ce bouchon D est évidé et, dans sa partie intérieure est ajusté le siége *a* d'une soupape en bronze A; cette soupape est guidée par une contre-tige 1, qui se meut dans une gaîne venue de fonte avec le siége *a*. La partie extérieure de la soupape A est plane et affleure le bord du siége *a*; le tout est recouvert par un clapet en caoutchouc A', capelé sur un bout de tige 2 de la soupape *a*. — Un disque annulaire B, à bords recourbés, appuie le clapet A' sur le plan commun du siége *a* et de la soupape A; ce disque porte, au centre, un tenon qui appuie directement sur la soupape A. Enfin, ce disque est contre-tenu par une série de ressorts

paraboliques R, R, deux à deux dans le même plan et croisés par paire à angle droit; les extrémités de ces ressorts sont guidées par les nervures 3, 3. Tout le système est serré par la vis *d* taraudée dans un manchon en bronze emprisonné dans le couvercle D′ de la boîte, et dont la pointe vient appuyer sur un croisillon *b* qui embrasse le ressort extérieur. Lors du fonctionnement de la soupape, l'eau s'écoule dans la cale par l'ouverture 4 pratiquée à la partie inférieure du couvercle D′.


Fig. 3.— *Soupape de sûreté de cylindre.* — Echelle 1/10.
Coupe verticale.



Robinets purgeurs. — Les moyens généralement employés pour purger les cylindres consistent en de simples robinets se manœuvrant à la main. Ces robinets sont laissés ouverts au départ, jusqu'à ce qu'ils ne donnent plus d'eau; en marche on les ouvre pendant les périodes d'introduction, pour faire évacuer l'eau contenue dans les cylindres, et provenant soit des condensations de la vapeur, soit des entraînements d'eau. La manœuvre de ces robinets se fait sans trop de difficulté avec les machines à mouvement lent, et on les ferme généralement à temps, lorsque la pression de la vapeur est égale à la pression atmosphérique, pour ne pas permettre à l'air de rentrer et de faire tomber le vide, ce qui aurait lieu quelques instants après. Mais avec les mouvements de rotation rapides, la fermeture de ces robinets ne peut être effectuée assez promptement pour prévenir les rentrées d'air, et il en résulte une chute du vide toutes les fois qu'il faut purger les cylindres.

Pour remédier à cet inconvénient, on a imaginé d'adapter aux robinets purgeurs une petite soupape contre-tenue par un faible ressort, et qui se ferme dès que la pression dans le cylindre est égale à la pression atmosphérique. Cette disposition est représentée par la *fig.* 3 *pl.* VI, dont voici la légende :

R Robinet en bronze pour purger le haut du cylindre; ce robinet est fixé sur le fond de cet organe, à côté du robinet purgeur du bas, qui présente d'ailleurs la même disposition, afin qu'on puisse les manœuvrer tous les deux avec facilité et sans se déplacer. Fig. 3, Pl. VI.

B Tubulure faisant communiquer le robinet R avec le haut du cylindre, au moyen d'un tuyautage convenablement disposé.

C Tubulure d'échappement de l'eau provenant de la vapeur condensée dans le cylindre.

c Clapet en bronze avec tige et contre-tige, s'ouvrant de haut en bas. Ce clapet est appuyé par le ressort à boudin *r* sur un siége creusé dans la partie inférieure de la tubulure C. Sa tige est guidée par la plaque D qui sert de butée au ressort *r*; sa contre-tige est guidée par un croisillon logé dans la tubulure C et venu de fonte avec le robinet.

D Plaque servant de point d'appui au ressort *r*; elle est maintenue par les boulons *d* qui traversent la plaque D et une collerette qui termine la tubulure C. Ces boulons servent en outre à donner au ressort *r* une tension suffisante.

t Tige cylindrique, terminée à sa partie inférieure par un carré encastré dans la clef du robinet; cette tige se prolonge jusqu'au-dessus du parquet supérieur de la machine, et porte à son extrémité un petit levier au moyen duquel on manœuvre la clef du robinet purgeur.

Lorsqu'il y a des entraînements d'eau au cylindre, ou simplement des condensations occasionnant des claquements, on ouvre le robinet purgeur et l'eau s'écoule par ce robinet tant que la pression de la vapeur est supérieure à la pression atmosphérique augmentée de la charge du ressort *r* sur le clapet. La tension de ce ressort étant d'ailleurs relativement faible, le clapet ne retombe sur son siége que vers le moment où l'eau cesserait d'évacuer le cylindre et où l'air pénétrerait dans ce récipient. Le robinet peut être laissé ouvert pendant toute la course du piston sans qu'on ait à craindre des rentrées d'air, et sa fermeture n'est effectuée que lorsqu'on reconnaît, au sifflement de la vapeur, que toute l'eau a été expulsée.

Penn a appliqué sur ses machines à fourreau un système de purge qui a de l'analogie, quand au clapet, avec celui dont il vient d'être question. La boîte à tiroir est surmontée d'une caisse en deux compartiments, appelée *séparateur*, et dans laquelle la vapeur est obligée de passer pour arriver à la boîte à tiroir. La vapeur change brusquement de direction dans le séparateur et se dépouille de l'eau qu'elle peut contenir; cette eau est évacuée à la bâche à eau douce par des robinets de purge ordinaires. Chaque orifice du cylindre communique avec le séparateur par un petit canal particulier fermé par un clapet que maintient un léger ressort à boudin. Ce clapet est chargé par la pression de la vapeur du séparateur qui est toujours un peu supérieure à la pression initiale du cylindre; le petit ressort n'est là que comme garantie pour empêcher le clapet d'être emporté dans un refoulement brusque. A chaque coup de piston, le clapet purgeur s'ouvre pendant la période de compression, s'il y a de l'eau dans le cylindre en quantité suffisante pour remplir les espaces neutres. Les cylindres sont d'ailleurs toujours pourvus de soupapes de sûreté, et même de robinets de purge à la

main placés à la partie inférieure. L'emploi des clapets purgeurs dont il vient d'être question est très-avantageux pour ménager les soupapes de sûreté des cylindres et pour les conserver par suite plus longtemps étanches.

Ajoutons que pour les machines à condensation par surface, les tuyaux des robinets purgeurs aboutissent à la bâche à eau douce. D'autre part, les cylindres à basse pression des machines Woolf se purgent très-souvent au condenseur, et les soupapes adaptées aux robinets purgeurs ne sont pas alors indispensables. Le plus souvent, toutes les purges, même celles des enveloppes des cylindres, aboutissent à un tuyau commun qui sert de collecteur et qui amène l'eau au condenseur.

Enveloppes des cylindres. — Les enveloppes des cylindres sont réchauffantes ou isolantes; les premières contiennent de la vapeur; les secondes sont tout simplement une sorte de revêtement formé de matières mauvaises conductrices de la chaleur.

Chemises de vapeur. — Nous avons expliqué au n° 8_6, le rôle avantageux que remplissent les chemises de vapeur; nous ne nous occuperons ici que de leur disposition matérielle. — Les chemises consistent en une gaîne métallique qui entoure, à une certaine distance, la surface externe des cylindres, et le plus souvent, en outre, en double fonds rapportés à chaque extrémité de ces récipients. Les espaces vides ainsi ménagés sont remplis de vapeur destinée à réchauffer les parois de cylindre en contact avec elle. — Toutes les parties extérieures de la chemise sont, par ailleurs, revêtues d'une enveloppe de matières isolantes. — L'emploi des chemises de vapeur n'est devenu général qu'avec les machines Woolf; tantôt elles sont appliquées à tous les cylindres, tantôt elles sont seulement appliquées aux cylindres détendeurs. — Les machines à détente simple en sont plus rarement pourvues. — Quoi qu'il en soit, ces chemises sont le plus souvent du même jet de fonte que les cylindres; plus rarement, elles sont rapportées et fixées sur les cylindres au moyen de collerettes *adhoc.*

Dans quelques appareils moteurs tels que les machines Woolf à trois cylindres côte à côte, les cylindres détendeurs sont pouvus d'enveloppes dans lesquelles la vapeur passe avant de pénétrer dans le cylindre admetteur. C'est la disposition qu'on remarque sur les *fig.* 3, *sect.* 3, *pl.* I, et sur les *fig.* 3, *sect.* 1, *fig.* 2, *sect.* 2 et *fig.* 4, *sect.* 3 de la *pl.* III. La même dispo-

sition d'enveloppes existe pour les machines à trois cylindres indépendants de la *sect.* 2, *pl.* I. — Si l'on considère les figures que nous venons de désigner, on reconnaît que la vapeur ayant un passage direct entre chaque cylindre et sa boîte à tiroir, la circulation dans les enveloppes est très-faible sinon nulle. Il en résulte que la vapeur reste stationnaire dans la partie base de ces enveloppes et s'y condense rapidement, ce qui oblige à des purges fréquentes. Si on laisse s'accumuler l'eau dans ces enveloppes, l'influence de ces dernières peut devenir plus nuisible qu'utile; en effet, l'eau se refroidit au contact de la paroi extérieure, et comme elle ne peut être réchauffée par la vapeur, elle ne tarde pas à prendre de la chaleur au cylindre au lieu de lui en donner. Cette eau peut d'ailleurs être entraînée dans un coup de roulis ou de tangage, et occasionner de fortes projections, au moment peut-être où la machine prend une allure inaccoutumée par suite de l'émersion partielle de l'hélice.

Il est vrai que si la vapeur était obligée de circuler dans les enveloppes, cette vapeur n'arriverait pas suffisamment sèche au cylindre admetteur, surtout aux allures modérées, ce qui pourrait avoir de graves inconvénients. En raison de la faible pression de régime de ces machines, et, principalement pour les machines Woolf, du volume considérable des conduits d'évacuation du cylindre admetteur, il est, en effet, de toute nécessité de n'admettre dans ce dernier cylindre que de la vapeur parfaitement sèche, si on veut éviter la présence de l'eau dans les cylindres détendeurs. Aussi la disposition dont nous venons de parler n'est pas trop désavantageuse, pourvu toutefois que les enveloppes soient souvent purgées, afin que l'eau provenant de la vapeur condensée y séjourne le moins possible. — Il va de soi que lorsque la vapeur des enveloppes doit travailler dans les cylindres, cette vapeur doit être surchauffée à la chaudière, afin qu'elle ne contienne que peu ou même point d'eau si c'est possible, au moment de l'introduction.

Sur la plupart des nouveaux appareils, la vapeur qui travaille dans les cylindres ne passe pas dans les enveloppes réchauffantes; ces dernières sont remplies par de la vapeur venant directement des chaudières, l'eau provenant de la condensation retournant d'elle-même aux générateurs, comme dans les machines à pilon, *sect.* 2 et 3, *pl.* II, ou bien étant évacuée à la bâche à eau douce au moyen de robinets purgeurs manœuvrés à la main. Les cylindres admetteurs sont pourvus d'enveloppes réchauffantes comme les cylindres détendeurs; mais cela n'est réellement nécessaire que si la vapeur doit subir un degré notable de détente naturelle dans ces cylindres. Dans tous les cas, la vapeur des enveloppes doit être aqueuse, car elle apporte alors sous le même volume une plus grande quantité de chaleur et peut maintenir la température du cylindre plus élevée. Il arrive même, pour les cylindres à basse pression des machines Woolf, que la différence entre la température de ces cylindres et celle de la vapeur qu'ils contiennent, est suffisante pour que cette vapeur se dépouille complétement de l'eau provenant de sa condensation partielle dans le conduit d'évacuation du cylindre admetteur. La partie de la vapeur en contact avec la paroi

intérieure du cylindre, pourrait même subir un léger degré de surchauffe si le mouvement du piston était suffisamment lent.

La température à laquelle doivent être maintenus les cylindres détendeurs des machines Woolf, pour éviter toute condensation dans leur intérieur, n'étant pas très-élevée, on a songé à faire réchauffer ces cylindres par de la vapeur prise dans une chaudière spéciale, alimentée à l'eau salée et fonctionnant à une température inférieure à celle des générateurs à eau douce. C'est ce qui a lieu pour le troisième cylindre détendeur des machines *John Elder et Cie* (n° 28_{14}). L'eau provenant de la condensation de la vapeur dans l'enveloppe de ce troisième cylindre, est évacuée à la bâche et sert à réparer les pertes d'alimentation.

Les avantages résultant de l'emploi des enveloppes de vapeur réchauffante non en communication avec les cylindres, sont encore augmentés par l'introduction de cette même vapeur dans les doubles fonds des couvercles, ainsi que dans les vides du piston, surtout dans les machines où la course du piston est faible, comparativement au diamètre du cylindre.

Enveloppes isolantes. — Les enveloppes isolantes appliquées sur les cylindres et les boîtes à tiroir, ont pour but de préserver le métal du contact de l'air et de diminuer la quantité de chaleur perdue extérieurement. Voici la disposition la plus généralement adoptée et qu'on trouve appliquée sur un grand nombre de bâtiments. — Les cylindres sont recouverts de feuilles de feutre appliquées dans le sens de la circonférence et séparées par des lattes de bois, légèrement plus épaisses, fixées sur la paroi du cylindre par des vis à bout perdu. Par dessus ce feutrage se placent des lattes en bois, peu larges, mises dans le sens des génératrices et maintenues par des vis à tête fraisée, qui se taraudent dans les lattes inférieures ; l'existence de ces dernières n'a pas d'autre objet que de servir de moyen de fixation au revêtement extérieur. Les bandes de feutre qui se trouvent ainsi emprisonnées ne doivent pas être comprimées, car c'est une condition très-favorable à la non-déperdition du calorique.

Réchauffeurs de grands pistons. — Dans leurs machines Woolf à pilon, représentées en *sect.* 2, *pl.* II, *Humphrys* et *Tennant* ne se sont pas contentés de faire circuler la vapeur réchauffante dans les enveloppes des cylindres et dans les doubles fonds de leurs couvercles ; ils ont aussi fait circuler cette vapeur dans les vides des grands pistons, afin que la surface de cet organe ne soit pas un agent refroidissant pour la vapeur qui travaille dans le cylindre détendeur. Le système au moyen duquel ces grands pistons sont réchauffés est représenté par les *fig.* 4, *pl.* VI ; c'est à grande échelle l'appareil L de la *fig.* 1, *sect.* 2, *pl.* II. — En voici la légende :

Fig. 4, Pl. VI.

A Cylindre creux fixé par un joint étanche au couvercle du cylindre détendeur; les deux collerettes du cylindre A portent intérieurement des presse-étoupe placés vis-à-vis, et qu'on serre en passant la clef par des fenêtres ménagées sur le pourtour de ce cylindre.

B Cylindre en bronze fixé par un joint étanche à la partie inférieure du cylindre A. La longueur du cylindre B est supérieure à la course du piston.

D Tuyau faisant communiquer les vides du couvercle du cylindre détendeur avec l'intérieur du cylindre en bronze B.

K Tube en bronze logé en partie dans le cylindre B et traversant les deux presse-étoupe du cylindre A, pour venir se tarauder dans la partie inférieure du grand piston. La longueur du tube K est assez grande pour que son extrémité ne s'engage jamais dans le presse-étoupe inférieur du cylindre A.

k Tige pleine en bronze, logée dans le tube K et taraudée dans la partie supérieure du grand piston, où elle est maintenue par un écrou faisant frein. Cette tige porte une embase qui passe librement dans le taraudage de la partie inférieure du piston, et contre laquelle vient butter le tube K. La communication entre l'intérieur du grand piston et le tube K est établie par quatre fenêtres pratiquées dans la partie supérieure de ce tube, depuis l'embase de la tige *k* jusqu'à l'affleurement de la paroi du piston.

F Tubulure qui amène dans un collecteur général, l'eau provenant de la condensation de la vapeur réchauffante.

P Piston du cylindre détendeur.

s Vides du couvercle du cylindre.

s' Vides du piston du cylindre détendeur.

La vapeur réchauffante qui circule dans les enveloppes des cylindres et dans les doubles fonds de leurs couvercles, pénètre dans le cylindre B par le tuyau D, de sorte que le cylindre B est toujours plein de vapeur. L'eau provenant de la vapeur réchauffante condensée dans les enveloppes, tombe aussi dans le cylindre B qui a une longueur suffisante pour que le niveau de cette eau n'atteigne jamais le point où l'extrémité du tube K termine sa course. La vapeur qui remplit le cylindre B passe dans le tube K, tout autour de la tige intérieure *k*, et va remplir les vides du piston. L'eau provenant de la condensation de la vapeur dans ces vides s'écoule naturellement en suivant un chemin contraire à celui de la vapeur; l'existence de la tige intérieure *k* facilite cet écoulement qui se fait d'ailleurs plus particulièrement quand le piston s'élève. — L'extrémité inférieure du cylindre B est plus élevée que le niveau de l'eau des chaudières, et le collecteur sur lequel s'embranche le tuyau F débouche dans le générateur un peu au-dessus de ce niveau. Comme la communication entre la chaudière et les enveloppes des cylindres est constante, il y a sensiblement la même pression dans le cylindre B et dans le générateur; l'eau que contient le cylindre B s'écoule par suite dans la chaudière par son propre poids. — MM. *John Elder et Cie* ont adopté un réchauffeur semblable sur quelques-unes de leurs machines Woolf à pilon.

N° 33, Réservoir intermédiaire pour machine Woolf. — Dans les machines Woolf à points morts concordants (n° 9), le volume de l'espace neutre entre les deux cylindres est toujours suffisant pour parer aux inconvénients qui pourraient résulter de ce que l'évacuation du cylindre admetteur et l'introduction du cylindre détendeur ne s'ouvrent pas et ne se ferment pas rigoureusement en même temps. Il n'en est pas de même dans les machines à points morts discordants (n° 10); ces ma-

chines ont besoin d'un réservoir intermédiaire pour recevoir la vapeur qui évacue le cylindre admetteur pendant que l'introduction du cylindre détendeur est fermée, afin de diminuer la perte de travail résultant de la compression qui se produit alors dans le premier cylindre. Mais le volume de ce réservoir doit être réduit au strict nécessaire, afin d'abaisser le moins possible la pression initiale du cylindre détendeur. Dans tous les cas il importe que ce réservoir soit muni d'une enveloppe de vapeur réchauffante, non-seulement pour prévenir les condensations dans son intérieur, mais aussi pour vaporiser l'eau provenant de la vapeur condensée dans le cylindre admetteur.

Dans la plupart des machines à pilon, et notamment dans celles des *forges et chantiers de la Méditerranée*, le conduit V', *fig. 4, sect.* 3, *pl.* II, qui fait suite au conduit d'évacuation E_1 du cylindre admetteur, contourne l'enveloppe de vapeur de ce cylindre et est réchauffé par cette enveloppe; mais la quantité de chaleur transmise à la vapeur qui évacue le cylindre admetteur est très-faible, et si cette vapeur contient de l'eau, cette eau ne peut être vaporisée. — Un appareil réchauffeur plus énergique est représenté en *sect.* 5, *pl.* IV; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Ce réservoir intermédiaire appartient à une machine Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et à 135°. La vapeur qui évacue le cylindre admetteur pénètre dans le réservoir par le conduit V', passe dans les tubes *d* réchauffés extérieurement par la vapeur qui arrive de la chaudière par le conduit V, et est enfin amenée dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs par les conduits V''. La vapeur réchauffante sort du réservoir par les tuyaux V_2 qui la conduisent dans les enveloppes des cylindres détendeurs, pour être ensuite introduite dans le cylindre admetteur. La disposition dont il s'agit est très-efficace pour réchauffer la vapeur qui évacue le cylindre admetteur; mais la vapeur réchauffante n'apporte plus une assez grande quantité de chaleur dans les enveloppes des cylindres détendeurs; la température de ces cylindres est maintenue moins élevée et finalement les condensations à leur intérieur sont plus considérables. De son côté, la vapeur sortant des enveloppes à une température moins élevée, est plus apte à se condenser dans le cylindre admetteur et, par suite, à amener une plus grande quantité d'eau dans le réservoir intermédiaire. C'est un cercle vicieux, et le réservoir dont il s'agit ne serait véritablement efficace que si la vapeur réchauffante était dispensée de travailler.

Sect. 5, Pl. IV.

Au lieu d'employer de la vapeur pour réchauffer le réservoir intermédiaire des machines Woolf, quelques constructeurs ont imaginé de faire passer la vapeur qui évacue le cylindre admetteur dans un véritable surchauffeur placé à la base de la cheminée. Le moyen est certainement économique, mais il entraîne avec lui tous les inconvénients d'une surchauffe qu'il est impossible de régler, et qui, le plus souvent, est exagérée, sans compter que la longueur des conduits de communication entre les deux cylindres doit occasionner une chute considérable de pression dans le cylindre détendeur. Il serait préférable d'utiliser les gaz de la combustion

pour chauffer une petite chaudière destinée à fournir la vapeur réchauffante au réservoir intermédiaire et aux enveloppes des cylindres.

Dans quelques machines Woolf, les cylindres détendeurs sont munis d'un organe de détente variable qui permet de réduire l'introduction de ces cylindres, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à l'égalité de travail entre le cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant. Quelquefois, la diminution de l'introduction du cylindre détendeur est tout simplement obtenu par un changement de suspension du secteur qui conduit le tiroir de ce cylindre. Dans tous les cas, le réservoir intermédiaire est alors muni d'une soupape de sûreté destinée à prévenir tout accident, en empêchant la vapeur de ce réservoir de prendre une pression supérieure à la pression initiale dans le cylindre admetteur. L'action de ce dernier cylindre serait en effet annulée au bout de peu de temps, s'il évacuait par coup de piston, un volume de vapeur plus grand que celui qui est admis dans le cylindre détendeur. La soupape de sûreté en question est surtout nécessaire avec un réservoir intermédiaire réchauffé, et principalement quand le cylindre admetteur n'est pas muni d'une enveloppe de vapeur, ou qu'il y a une détente naturelle notable dans ce cylindre. Il peut arriver alors qu'en raison de la revaporisation de l'eau apportée par la vapeur dans le réservoir intermédiaire, la diminution de l'introduction du cylindre détendeur fasse prendre à la vapeur du réservoir une pression trop élevée.

N° 33_8 Systèmes récents pour serrage et garniture de presse-étoupe. — Garnitures auto-lubrifiantes. — Les nouveaux systèmes adoptés pour les presse-étoupe des tiges de piston et qui permettent de serrer les garnitures en marche, du parquet même de la machine, sont représentés par les *fig.* 5 et 6, *pl.* VI.

Système des chantiers et ateliers de l'Océan. — La *fig.* 5, *pl.* VI, représente le dispositif imaginé par l'usine des *chantiers et ateliers de l'Océan* et appliqué aux presse-étoupe des tiges de piston, dans quelques machines Woolf à trois cylindres construites par cette usine. Voici la légende de cette figure :

A Boîte à étoupe de tige de piston ; cette boîte fait partie du couvercle du cylindre ; elle porte dans le fond une bague en bronze, comme les presse-étoupe ordinaires. Fig. 5, Pl. VI.

B Chapeau de presse-étoupe, en bronze. Ce chapeau n'a pas les oreilles qui servent d'habitude au serrage ; sa longueur est plus que double de la quantité dont il doit pénétrer dans la boîte à étoupe lors d'un serrage à bloc. Il est taraudé extérieurement sur la partie qui n'est pas destinée à pénétrer dans la boîte à étoupe, et porte un quadruple filet carré de pas à gauche. A la base du taraudage se trouve, venu de fonte avec le chapeau, un bras D qui sert à le faire tourner.

B' Plaque en fer qui sert d'écrou à la partie taraudée du chapeau B. Cette plaque est maintenue sur la boîte à étoupe par les deux goujons *b*, qui servent d'ailleurs de moyen de serrage lorsqu'on change complétement les tresses ou qu'on recharge la boîte à étoupe. Les goujons *b* sont placés suivant le diamètre vertical du cylindre ;



ils agissent sur le chapeau B par l'intermédiaire de la plaque B' qui sert d'écrou à ce chapeau.

D Bras venu de fonte avec le chapeau B, et qui sert à manœuvrer ce chapeau en marche, pour serrer le presse-étoupe. Ce bras porte à son extrémité une petite fourche sur laquelle est articulée la douille F.

G Vis à une seul filet carré, taraudée dans la douille F. Cette vis est verticale dans sa position moyenne; elle est prolongée par une longue tige dont la partie supérieure est terminée par une rotule 3, prise dans la pièce K.

K Pièce fixe sur le couvercle du cylindre, à la hauteur du parquet supérieur de la machine, et dans laquelle se meut la rotule 3 de la vis G. La pièce K est en deux parties reliées par de petits boulons.

T Tige de piston.

s Vides des doubles fonds du couvercle du cylindre.

1 Tuyau de graissage du presse-étoupe.

2 Boîte de graissage, noyée entre deux épaisseurs de tresses. Cette boîte est en bronze d'un seul morceau; elle est formée de deux couronnes circulaires, légèrement creuses sur leurs faces extérieures pour faciliter l'application des tresses contre la tige, et reliées par des nervures formant entretoise.

3 Rotule autour de laquelle oscille la vis G. Sur le sommet de cette rotule est creusé un évidement hexagonal 4, destiné à recevoir une clef à tenons au moyen de laquelle on fait tourner la vis G.

Lorsqu'on garnit la boîte à étoupe pour la première fois et lorsqu'on veut la recharger, la vis G est desserrée de manière que le bras D prenne une position inclinée à 45° environ au-dessous de l'horizontale. Dans cette position du bras D, le chapeau du presse-étoupe est complétement taraudé dans la plaque B'. On enlève alors le boulon qui relie la douille de la vis G au bras D, et le chapeau du presse-étoupe devient indépendant. Les écrous des goujons *b* étant enlevés, on retire le chapeau B en même temps que la plaque B', comme dans un presse-étoupe ordinaire. Il faut avoir la précaution de mettre dans le fond de la boîte à étoupe, entre la bague en bronze et la boîte de graissage, un nombre suffisant de tresses pour que la partie la plus avant de cette boîte démasque tout juste le trou par lequel le suif pénètre dans la boîte à étoupe. Le premier serrage s'effectue au moyen de goujons *b*, comme s'il s'agissait d'un presse-étoupe ordinaire, puis on remet en place le boulon qui relie la douille de la vis G au bras D, ce bras étant toujours incliné à 45° au-dessous de l'horizontale. — Lorsqu'au bout d'un certain temps de marche la garniture du presse-étoupe est lâche, ce qu'on reconnaît facilement, soit aux petites fuites qui se reproduisent, soit au ballottement du chapeau, on agit sur la vis G au moyen de la clef à tenons, et on remonte le bras D qui fait tourner le chapeau B. Ce dernier se dévisse de la plaque B' qui lui sert de point d'appui, et pénètre de plus en plus dans la boîte à étoupe en comprimant les tresses. Il y a lieu de remarquer que, pendant cette opération, on serre toujours carré-

ment, si on a eu la précaution de bien placer la plaque B' parallèlement à la tranche de la boîte à étoupe.

Système américain. — Le système américain, employé aussi par les *forges et chantiers de la Méditerranée* et appliqué indistinctement à tous les presse-étoupe, est représenté par la *fig.* 6, *pl.* VI, dont voici la légende :

Fig. 6, Pl. VI.

A Boîte à étoupe en fer ou en bronze, fixée par un joint étanche sur le couvercle du cylindre, et portant dans le fond une bague en bronze pour le frottement de la tige de piston. Cette boîte se prolonge en dehors du couvercle du cylindre et toute la partie saillante est taraudée extérieurement, à simple filet carré.
B Chapeau de presse-étoupe, formé simplement d'une bague cylindrique en bronze, qui s'engage dans l'intérieur de la boîte à étoupe.
B' Écrou cylindrique destiné à pousser le chapeau B pour le faire pénétrer dans la boîte à étoupe. Cet écrou est taraudé sur la boîte, et son pourtour est taillé en engrenage hélicoïdal, dont les dents très-allongées ne se distinguent de celles d'un pignon ordinaire que par une légère inclinaison des génératrices.
D Vis sans fin engrenant avec les dents extérieures de l'écrou B', et servant à faire tourner cet écrou. L'axe de cette vis est vertical ; sa partie inférieure repose sur une crapaudine fixée au couvercle du cylindre ; sa partie supérieure traverse une patte également fixée à ce couvercle, et s'élève jusqu'au parquet de la machine. Une petite embase que porte la tige, en dessous de la patte qui la guide, sert de point d'appui à la vis D, et l'empêche de remonter.
d Croisillon monté sur l'extrémité de la tige de la vis D, et au moyen duquel on fait tourner cette vis.
T Tige de piston.
s Vides des doubles fonds du couvercle du cylindre.

L'écrou B' remplace tout autre moyen de serrage. Les tresses étant préalablement bien enfoncées avec un matoir en bois, on met en place le chapeau B et par dessus, l'écrou B' qu'on fait tourner à la main pour commencer, puis au moyen de la vis D. En marche, le serrage s'effectue sans aucune difficulté, et on serre toujours bien carrément.

Avec les deux systèmes de serrage qui viennent d'être expliqués, il ne faut jamais serrer en marche que modérément. Quoique les leviers sur lesquels on agit, la clef à tenons dans le premier cas et le croisillon dans le second, soient assez faibles, l'action des vis est si considérable que si on n'agissait pas avec précaution, on s'exposerait, sinon à défoncer la boîte à étoupe, du moins à rendre la garniture trop dure. La tige ne serait plus suffisamment lubrifiée et il pourrait se produire un échauffement.

Presse-étoupe avec bague en antifriction. — Dans les appareils puissants, les boîtes à étoupe ont des dimensions considérables et il faut pour les garnir un grand nombre de tresses. Outre

que les garnitures de ces presse-étoupe sont très-difficiles à exécuter, le frottement des tresses contre la tige du piston occasionne l'usure rapide de cette tige, et très-souvent son ovalisation irrégulière. C'est pour obvier à ces inconvénients que quelques constructeurs placent une bague en bronze en deux parties, entre la tige du piston et la garniture du presse-étoupe.

On rencontre aussi quelquefois au lieu de la bague en bronze, une bague en antifriction, et la boîte à étoupe a la disposition indiquée par la *fig.* 7, *pl.* VI, dont voici la légende :

Fig. 7, Pl. VI.

- **A** Corps de la boîte à étoupe, faisant partie du couvercle du cylindre.
- *a* Bague en bronze pour le frottement de la tige de piston; cette bague est en deux parties fixées dans le fond de la boîte à étoupe au moyen de vis à tête fraisée et noyée.
- **B** Chapeau du presse-étoupe, en fonte. Ce chapeau est alésé intérieurement suivant deux diamètres différents : le plus grand, dans la partie qui s'emmanche dans la boîte à étoupe, est égal au diamètre extérieur de la bague C; le plus petit est destiné à former le presse-étoupe *b*. Le serrage du chapeau B est effectué par les boulons 2.
- *b* Presse-étoupe pour retenir le suif de graissage mis dans le godet 1, que forme le chapeau B. Le presse-étoupe *b* ne diffère en rien des presse-étoupe ordinaires; il est seulement très-petit et ne reçoit qu'une tresse ou deux au plus, que l'on serre d'ailleurs très-peu.
- **C** Bague en antifriction, en trois segments ajustés avec un adent, comme le montre la vue 3°. Cette disposition permet à la bague C d'embrasser exactement la tige du piston, et par suite de toujours conserver la même étendue de surface de contact; on évite ainsi l'ovalisation de la tige, et le presse-étoupe reste plus longtemps étanche.
- *c* Rondelle en cuivre rouge qui se place dans la boîte à étoupe, en avant de la bage en antifriction.

Pour faire le presse-étoupe on met d'abord une bonne tresse carrée remplissant toute la largeur de la boîte à étoupe, et que l'on enfonce dans cette boîte avec un matoir. On place ensuite la rondelle de cuivre *c* dont la présence est nécessaire pour que les segments de la bague C ne mordent pas sur la première tresse, ce qui rendrait impossible le serrage de l'extrémité de cette bague. La bague C est ensuite mise en place, puis on enfonce les tresses préparées pour remplir le vide entre cette bague et la boîte à étoupe. On serre la garniture avec le chapeau B qui appuie sur ces tresses, et tend à enfoncer la bague C en même temps qu'à l'appliquer contre la tige de piston. — La première tresse mise dans le fond de la boîte à étoupe fait joint étanche; les tresses qui entourent la bague en antifriction servent de moyen de serrage à cette bague, pour qu'elle soit bien appliquée contre la tige du piston. Cette bague et les tresses qui la serrent font à leur tour joint étanche. — Cette disposition de boîte à étoupe donne à la tige de piston un frottement très-doux; en raison

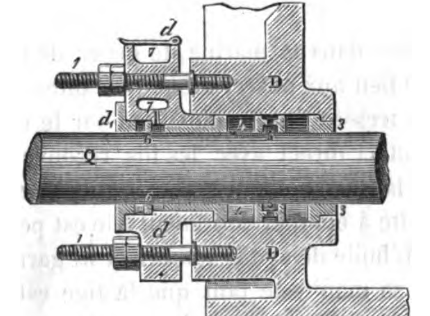
de sa nature, l'antifriction s'adapte parfaitement au contour de la tige et le joint est très-étanche. Les tresses qui entourent la bague ne s'usent pas, et comme elles ne sont pas en contact direct avec la vapeur, elles durent très-longtemps. La tresse du fond seule à besoin d'être changée assez souvent. Quand le presse-étoupe est bien fait, le serrage n'a besoin d'être effectué en marche qu'à d'assez longs intervalles.

Presse-étoupe de tige de tiroir pour les cylindres détendeurs des machines Woolf. — Pour les tiroirs de ces cylindres, et particulièrement pour les tiroirs en D, la garniture de la tige doit prévenir toute rentrée d'air. La *fig. 4* représente la disposition adoptée dans ce but par l'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée*, et appliquée aux machines du *Tourville*.

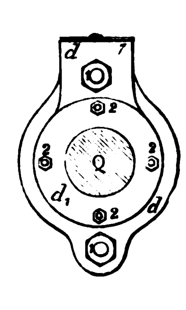
La boîte à étoupe D, est munie, dans le fond, d'une bague en bronze 3, pour adoucir le frottement sur la tige. Le chapeau du presse-étoupe, serré par les prisonniers 1, 1, porte lui-même une bague en bronze 4. Dans l'intérieur de la boîte à étoupe, entre deux garnitures, se trouve la boîte 5,

Fig. 4. — *Presse-étoupe de tige de tiroir pour cylindre détendeur.* — Échelle 1/10.

Vue 1°. Coupe verticale.



Vue 2°. Vue par bout.



en bronze, qui est en communication, par un orifice pratiqué sur la paroi de la boîte D, avec la chemise de vapeur du cylindre. Cette disposition empêche toute rentrée d'air. — Sur l'avant, le chapeau *d* forme un tout petit presse-étoupe dont le chapeau d_1 est serré par les prisonniers 2, 2. La bague 6, qui forme le fond de la boîte, s'appuie sur un épaulement, et laisse un espace annulaire libre autour de la tige Q, entre elle et la bague 4. Cet espace annulaire est en communication avec la boîte de graissage 7, pratiquée sur le chapeau *d*.

Garnitures auto-lubrifiantes. — Les garnitures de boîtes à

étoupe dites auto-lubrifiantes, sont cylindriques. Elles sont formées de fils de coton légèrement cordé avec interposition d'une matière onctueuse en poudre, communément appelée *poudre de gant*, et qui n'est autre chose qu'un silicate de magnésie. Le tout est recouvert d'une enveloppe tressée assez lâche. Ce genre de garniture porte aussi le nom de tresses *Miller*. Les tresses peuvent être confectionnées pour tel diamètre que l'on désire, suivant les dimensions de la boîte à étoupe. Voici les régles pratiques de leur mise en place.

1° Prendre des tresses d'un diamètre supérieur d'un quart à un tiers à la largeur de l'emplacement où elles doivent se loger, et les couper de longueur pour qu'elles embrassent juste la tige qui traverse le presse-étoupe.

2° Aplatir ces tresses dans un sens de manière à les faire entrer facilement dans la boîte à étoupe. Cet aplatissement doit se faire en comprimant les tresses entre deux bouts de planches serrés par un étau. Il faut éviter de les frapper au maillet, afin de ne pas détériorer le coton formant l'enveloppe et de ne pas provoquer la sortie de la poudre contenue dans l'intérieur.

3° Les tresses étant engagées à la main dans la boîte à étoupe, serrer ensuite le chapeau du presse-étoupe de manière à comprimer légèrement. Desserrer ensuite ce chapeau, le rendre à la main contre les tresses, et serrer également les écrous à la main.

Pendant les expériences faites dans la marine, le genre de garniture qui nous occupe a donné lieu aux observations suivantes :

L'enveloppe extérieure des tresses s'use rapidement par le frottement, et la tige vient en contact direct avec les fils recouverts de poudre. Dans ces conditions, la tresse n'a plus de soutient ; elle ne doit plus être retirée de la boîte à étoupe, autrement elle est perdue.

Il faut éviter de graisser. L'huile délaye la poudre et la garniture s'appauvrit. Aucune fuite ne se manifeste tant que la tige est bien centrée, et la garniture demeure étanche pendant un temps très-long, sans qu'on ait autre chose à faire qu'à donner un léger serrage au chapeau du presse-étoupe. Dans ces conditions, les tresses auto-lubrifiantes fonctionnant sans graissage, sont économiques, malgré leur prix de revient qui est relativement élevé.

Les tiges qui traversent ces garnitures deviennent brillantes, la surface est onctueuse et ne présente aucune apparence de rayure. — Pour les boîtes à étoupe dont les tiges sont mal guidées ou sujettes à des ballottements, les garnitures auto-lubrifiantes ne sont pas étanches parce qu'elles ont très-peu d'élasticité. Il faut alors grais-

ser pour éviter les fuites, et l'emploi des tresses en question devient onéreux.

N° 34. — 1. Nouveaux compensateurs pour tiroirs. — Tiroir de Outridge. — Tiroir fixe pour machines oscillantes. — 2. Dispositions particulières de tiroirs pour machines Woolf. — 3. Distrbution Corliss. — 4. Améliorations de détail apportées à la mise en marche Mazeline, et considérations relatives à ce mécanisme. — 5. Mise en marche Maudslay. — 6. Mises en marche à vapeur. — 7. Considérations relatives à la mise en marche des machines Woolf. — 8. Renvois de mouvement pour détente variable par les chantiers et ateliers de l'Océan. — Soupape équilibrée pour registre de vapeur de Maudslay.

N° 34_1 Nouveaux compensateurs pour tiroir. — Tiroir de Outridge. — Tiroir fixe pour machines oscillantes. — Les compensateurs de tiroir les plus généralement employés aujourd'hui, se composent d'un cadre rectangulaire ou ovale et quelque fois circulaire, glissant d'une manière étanche contre le dos de la boîte à tiroir ou contre le dos du tiroir lui-même, ce cadre étant engagé dans une boîte à étoupe portée par celle de ces pièces sur laquelle ne s'exerce pas le frottement. La boîte à étoupe est garnie soit avec du chanvre, soit avec des bagues métalliques s'enboîtant l'une dans l'autre à la façon des presse-étoupe des fourreaux. Les garnitures en chanvre sont très-difficiles à graisser en marche et se brûlent rapidement pour peu que la vapeur soit surchauffée. Quand aux garnitures métalliques, non-seulement il est impossible de leur donner une étanchéité parfaite, mais encore leur grand diamètre et leur faible hauteur les rendent très-susceptibles de ce coincer dans les décollements du tiroir. Ce dernier ne se soulève en effet, jamais parallèlement à lui-même, mais au contraire obliquement, du côté où l'évacuation vient de se faire. Malgré les mouvements de va-et-vient du tiroir, malgré les ressorts, les garnitures métalliques restent souvent coincées pendant assez longtemps, car elles ne gardent guère le poli qu'on leur donne au montage. Il en résulte des fuites de vapeur dont on ne reconnaît l'existence qu'à la longue, par l'augmentation de la consommation de charbon.

Compensateur des forges et chantiers de la Méditerranée. — La *fig.* 5 représente la disposition adoptée par les *forges et chantiers de la Méditerranée* pour les grands tiroirs des machines du *Tourville.*

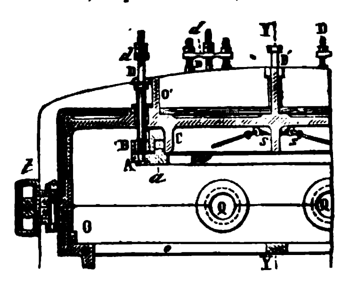
Ce compensateur comporte deux cadres circulaires mobiles, A et B, qui forment, par leur ajustage entre eux et avec la nervure également circu-

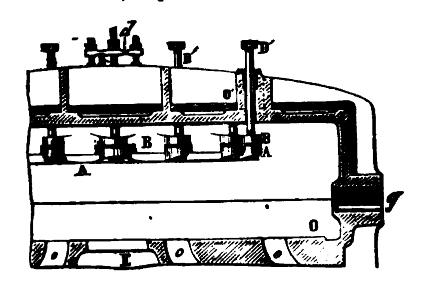
lairé C de la porte O′ de la boîte à tiroir, une boîte à étoupe *a*. Le cadre A, garni d'antifriction à la partie inférieure, porte sur le dos du tiroir; ce dernier est en coquille et à double orifice.

Fig. 5. — *Compensateur pour tiroir de cylindre détendeur.* — Echelle 1/30°.

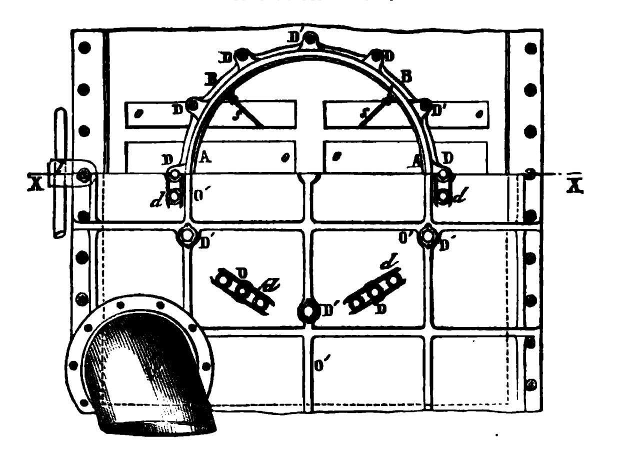
Vue 1°, coupe suivant XX, vue 3°.


Vue 2°, coupe suivant YY, vue 1°.





Vue 2°, demi-plan du couvercle de la boîte à tiroir et demi-plan de la garniture, le couvercle enlevé.



Le cadre A est muni de 12 oreilles dans chacune desquelles s'engage l'extrémité d'un boulon D ou D′, ce boulon étant tenu par une embase et un écrou goupillé. Tous les boulons D et D′ traversent des boîtes à étoupe pratiquées sur la porte O′. D'autre part, les extrémités des boulons D et D′, au-dessus du cadre A, se taraudent dans des oreilles dont est muni le cadre B; ces oreilles sont garnies de douilles en bronze. Enfin, les boulons D et D′ étant alternés, les premiers ont leurs extrémités extérieures filetées, et passent dans des traverses *d* supportées par deux montants; les boulons D sont munis, par-dessus ces traverses, d'un écrou, avec contre-écrou, au moyen duquel le cadre A peut être relevé ou abaissé. Dans ce mouvement, les boulons D′, munis tout simplement d'une tête à

l'extérieur, glissent dans leur boîte à étoupe, de même d'ailleurs que le boulon D.

Par la disposition dont il s'agit, le serrage de la garniture est indépendant de la pression que le cadre exerce sur le tiroir, et ce dernier peut se soulever sans difficultés, s'il survient des projections d'eau. — La boîte à étoupe peu recevoir une garniture en chanvre ou bien en lames de caoutchouc recouvertes de toile. Voici, pour compléter l'intelligence de la *fig.* 5, la légende des parties dont nous ne nous sommes pas occupés.

O Boîte à tiroir, en deux parties avec jonction horizontale, suivant l'axe des tiges de tiroirs.
o Orifices du cylindre.
Conduit d'évacuation.
Boîtes à étoupe pour la tige du grand tiroir (cylindre détendeur).
q Boîte à étoupe pour la tige du petit tiroir (cylindre admetteur). La tige reçoit son mouvement du grand tiroir.
s Graisseur du compensateur.
t Guide de la bielle de suspension du secteur.
v Tuyau d'arrivée de vapeur.

Compensateur Mourraille. — MM. *Mourraille et Cie*, constructeurs à Toulon, ont imaginé une disposition qui est absolument exempte des inconvénients inhérents aux compensateurs ordinaires; ils ont remplacé la garniture par un joint toujours étanche, et d'une telle flexibilité que le compensateur obéit sans aucune difficulté à ses ressorts; en sorte que le contact se rétablit dès que l'eau chassée par le piston, à sa fin de course, est passée. Ce joint consiste en une couronne de cuivre rouge très-mince, boulonnée à sa circonférence extérieure sur le dos du tiroir, et à sa circonférence intérieure au dos du compensateur. C'est une idée dont le principe n'est pas absolument nouveau, mais dont les applications ne semblent pas avoir été satisfaisantes jusqu'à présent, puisqu'elles ne se sont pas répandues. L'usine *Mourraille* en a d'ailleurs disposé tous les détails d'une façon nouvelle; et, après plusieurs essais, elle est arrivée au type qui est représenté par la *fig.* 9. *pl.* V, et dont voici la légende.

A Tiroir en coquille à dos percé. Fig. 9
B Porte de la boîte à tiroir, parfaitement dressée sur sa face intérieure et parallèlement à la plaque du cylindre. Pl. V.
C Cadre compensateur. Ce cadre frotte d'une manière étanche contre le dos de la boîte à tiroir. Il est muni de quatre bras *c,c,c,c*, disposés comme les rayons d'une roue autour d'un disque central C'.
D Deux gros boulons fixés à demeure sur le tiroir et entraînant le cadre compensateur dans le mouvement de va-et-vient du distributeur. La ligne des centres des boulons D est perpendiculaire à la direction de la course du tiroir. Ces boulons passent à frottement doux dans des bagues en bronze *d* fixées au cadre compensateur; ils portent à leur extrémité supérieure une rondelle *d'*, serrée par un écrou et un contre-écrou. Les rondelles *d'* limitent la quantité dont le cadre compensateur peut s'écarter du tiroir.
E Couronne en cuivre rouge de 1/2 millimètre d'épaisseur, faisant joint en *e,e* sur le tiroir et en *e',e'* sur le cadre compensateur, au moyen de couronnes en fonte 1 et 2,



respectivement boulonnées sur le tiroir et sur le cadre. Afin que les joints soient facilement démontables, chacun d'eux est formé par deux anneaux de caoutchouc de 5 millimètres de diamètre, comprimés par la couronne E dans des gorges pratiquées sur le tiroir et sur le cadre compensateur, ainsi que sur les couronnes de fixation 1 et 2. — La garniture en cuivre E est ondulée sur tout son pourtour entre le tiroir et le cadre compensateur, pour permettre à ce dernier de s'écarter ou de se rapprocher librement du tiroir sans qu'il en résulte aucun fendillement du métal de cette garniture. Cette disposition permet d'ailleurs au cuivre de se dilater librement au contact de la vapeur sans qu'il en résulte aucune fatigue pour les joints.

F Deux ressorts paraboliques placés à angle droit l'un par rapport à l'autre, et individuellement à 45° par rapport à la direction de la course du tiroir. Ces deux ressorts sont fixés par leur milieu au-dessous du disque central C', qui est relié au cadre compensateur par les quatre bras *c*. Les extrémités des ressorts F appuient sur la saillie *a* du tiroir, dont la partie supérieure a été dressée parallèlement au plan des barrettes. Les ressorts F tendent toujours à soulever le cadre compensateur et à le maintenir constamment appliqué contre le dos de la boîte à tiroir; par suite, le tiroir lui-même est toujours appliqué contre la bande du cylindre.

g, g_1 Boulons de fixation de la tige de tiroir sur cet organe.

o Orifices du cylindre.

Lorsque la porte de la boîte à tiroir est enlevée, les ressorts F écartent le cadre compensateur jusqu'à ce que ce dernier butte contre les rondelles *d'*. Dans cette position, la couronne en cuivre E n'a fléchi que d'une très-petite quantité, d'ailleurs insuffisante pour la fatiguer. En mettant en place la porte de la boîte à tiroir, le cadre compensateur descend; les ressorts F sont plus fortement comprimés, et il reste en dessous des rondelles *d'*, un jeu prévu pour l'usure, soit des barrettes du tiroir, soit du cadre compensateur lui-même. — Le cadre compensateur étant entraîné par le tiroir au moyen des deux boulons D, les ressorts F et la garniture E n'ont aucune fatigue à supporter par le fait du mouvement du tiroir sur la bande du cylindre. La couronne E ne pourrait se détériorer qu'à la suite des oscillations répétées que le tiroir lui ferait subir si les projections d'eau étaient fréquentes. Pour avoir une idée de la durée probable de ces couronnes, l'usine *Mourraille* en a monté une sur une bielle d'excentrique qui lui faisait faire le soufflet à raison de 43 oscillations par minute, ces oscillations ayant 5 millimètres d'amplitude. Le cuivre n'a commencé à se gercer qu'au bout de 3.300 oscillations. Comme les mouvements de décollement des tiroirs n'ont ni cette fréquence, ni cette allure, ni cette amplitude, comme ils ont lieu dans un milieu chaud et généralement saturé de matières grasses, la durée des couronnes sera longue. Au reste, les rechanges ne sont ni chers ni encombrants.

Si l'évacuation ne devait pas se faire par le dos même du tiroir, ce dernier pourrait être complétement fermé en *a*, et il suffirait de mettre le compensateur en communication avec le condenseur par un simple tuyau. D'un autre côté, il est bien évident que le mode de compensation qui nous occupe est tout aussi applicable sur un tiroir introduisant par les arêtes intérieures que sur un tiroir introduisant par les arêtes extérieures.

Ce genre de compensateur présente de sérieuses garanties d'étanchéité et de durée; il est incontestablement supérieur à tous ceux qui ont été employés jusqu'à ce jour. Son application permet de réaliser de sérieuses économies de combustible en faisant disparaître les fuites considérables,

le plus souvent inaperçues, qui ont lieu par les garnitures des compensateurs ordinaires. — Ce compensateur n'existe que depuis la fin de l'année 1873, et la compagnie des *Messageries maritimes* en a déjà doté plus de quinze de ses paquebots, dont quelques-uns desservent la ligne du Japon.

Compensateur Dawes et Holt. — Dans les tiroirs construits par *Dawes* et *Holt*, à *Lee*, le cadre compensateur frotte contre le dos de la boîte à tiroir, et est entraîné dans le mouvement de va-et-vient du distributeur par un diaphragme élastique fixé sur le dos du tiroir et sous le cadre compensateur. Cette disposition est représentée par la *fig.* 10, *pl.* V, dont voici la légende :

Fig. 10, Pl. V.

A Tiroir ordinaire en coquille.
B Porte de la boîte à tiroir, parfaitement dressée sur sa face intérieure qui doit être parallèle à la bande du cylindre.
b Orifice de communication du compensateur avec le condenseur ou avec l'atmosphère.
C Cadre compensateur frottant d'une manière étanche contre le dos de la boîte à tiroir.
D Plaque en acier de forme rectangulaire ou ovale, fixée en son milieu sur le dos du tiroir, avec un joint étanche, par la pièce en fonte *a* serrée par les vis 1 ; les extrémités de cette plaque sont fixées sous le cadre compensateur, après avoir été emprisonnées entre ce cadre et une rondelle en fer *c*, cette dernière étant maintenue par des rivets. La plaque D ainsi fixée intercepte toute communication entre la boîte à tiroir et le compensateur ; c'est par son intermédiaire que le cadre C est entraîné par le tiroir dans son mouvement de va-et-vient ; enfin elle fait ressort pour appuyer ce cadre contre la porte de la boîte à tiroir et le distributeur contre la bande du cylindre.
E Conduit d'évacuation du cylindre.
o Orifices du cylindre.

La plaque en acier D remplit ici les trois fonctions bien distinctes énumérées dans la légende, et il est douteux qu'elle les remplisse également bien. Cette plaque est plane sur toute l'étendue du dos du tiroir ; elle peut même être évidée sur une partie de cette étendue si les boulons 1 sont en nombre suffisant, à la condition que le joint soit étanche. La partie extérieure est un peu rabattue et a la forme d'une surface latérale de tronc de cône. Enfin, la partie emprisonnée sous le cadre compensateur est plane et parallèle à la table du cylindre ; cette dernière condition n'est pas indispensable. — La plaque D est déjà tendue pour appuyer le cadre compensateur contre le dos de la boîte à tiroir, et doit fatiguer à l'angle du joint autour de la plaque *a*, ainsi qu'à l'angle intérieur de la rondelle *c* : s'il survient un soulèvement du tiroir, la partie libre de la plaque D doit être comprimée, attendu qu'elle est emprisonnée par son bord extérieur, et il doit en résulter une fatigue encore plus grande aux joints déjà désignés. Bien évidemment, la plaque D travaille dans de très-mauvaises conditions, et si on appliquait ce système de compensation sur un tiroir de fortes dimensions, il n'est pas douteux que la rupture ne saurait tarder à se produire autour du tiroir ou à l'angle intérieur de la rondelle *c*.

La forme circulaire, aussi bien pour le dos du tiroir que pour le cadre compensateur, est celle qui conviendrait le mieux au bon fonctionnement et à la durée de la plaque en acier D.

Quoi qu'il en soit, l'obligation de faire conduire le cadre par la plaque D obligerait, pour des machines puissantes, de donner à cette plaque une épaisseur relativement considérable qui nuirait beaucoup à son élasticité et augmenterait sa fatigue aux angles des joints. D'un autre côté, si on donnait à la partie libre de la plaque D une forme ondulée, elle n'aurait probablement plus assez de rigidité pour entraîner le cadre compensateur tout en l'appuyant suffisamment contre le dos de la boîte à tiroir. En raison de sa simplicité, ce genre de compensateur peut être utilement employé sur des machines de faible puissance; mais il est douteux qu'il puisse donner de bons résultats sur des appareils de grandes dimensions.

Tiroir de Outridge. — Le distributeur *Outridge* appliqué par le *Creusot* sur les machines du paquebot transatlantique le *Saint-Laurent*, est un tiroir à coquille à dos percé, muni d'un double système de barrettes parallèles et se mouvant entre deux bandes de cylindre qui sont rapportées. L'appareil moteur du *Saint-Laurent* est une machine Woolf à pilon, à deux paires de cylindres bout à bout. Les tiroirs se meuvent verticalement et leur poids est équilibré par des pistons suceurs montés sur les prolongements des tiges. Le distributeur *Outridge* appliqué aux cylindres admetteurs de cet appareil moteur est représenté dans tous ses détails par la *fig.* 11, *pl.* V, dont voici l'explication :

Fig. 11, Pl. V. Le tiroir en coquille et à dos percé A est muni de deux systèmes de barrettes égales et parallèles, et se meut sur champ, entre les deux bandes rapportées B dont les faces sont parallèles au plan longitudinal de la machine. Le tiroir ne porte que sur les faces de ses bandes; il est guidé verticalement par sa tige et une autre tige que surmonte un piston suceur; la vapeur l'environne. — Le poids du tiroir étant équilibré et les barrettes opposées étant égales, ce tiroir n'est soumis à aucune pression qui tende à l'appliquer contre les bandes du cylindre; il est par suite rigoureusement compensé.

La tige Q du tiroir traverse la douille d'emmanchement *a*, et se fixe par un double jeu d'écrous et de contre-écrous. Cette tige est verticale, traverse complétement la boîte O et se prolonge en Q′ pour venir se fixer sur le piston suceur K. Le cylindre K′ de ce piston surmonte la boîte à tiroir; il est en communication avec cette boîte par sa base, et avec le condenseur par son sommet, au moyen d'un tuyau qui prolonge le petit orifice 1. Par cette disposition, le poids du tiroir est équilibré, et cet organe est parfaitement guidé en ligne droite.

Les coquilles B font l'office de bandes du cylindre. Ces coquilles sont rapportées avec joint étanche suivant la ligne 2,2, vue 2°, sur la bande ordinaire de cet organe. Cette dernière a la forme habituelle, mais la nervure du milieu des orifices a une grande largeur. — Le tiroir est emprisonné entre les faces en regard des coquilles B, qui sont d'ailleurs parfaitement parallèles. Chacune de ces coquilles est munie de trois orifices : les deux orifices extrêmes *o*,*o*, servent pour l'introduction et communiquent avec les orifices o_1,o_1 du cylindre par l'intermédiaire des coquilles *c*,*c*; l'orifice du milieu *o′*, sert pour l'évacuation; il communique avec les orifices du cylindre par la coquille intérieure E du tiroir, et avec le condenseur par l'intermédiaire des coquilles E′ et du conduit ordinaire d'évacuation E_1 du cylindre admetteur C_1. Ce dernier conduit prolonge le tuyau V′ qui amène la vapeur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur. Chaque paire de barrettes du tiroir se meut sur les orifices *o*,*o*, exactement comme le ferait un tiroir ordinaire sur la bande du cylindre.

Les coquilles B sont complétement renfermées dans la boîte à tiroir O, qui reçoit la vapeur de la chaudière par le tuyau V. Les prisonniers 3 qui fixent les coquilles B sur le cylindre, ne remplissent pas complétement les trous percés aux bases de ces coquilles pour les recevoir. Ces trous sont ovalisés dans le sens perpendiculaire à la direction de la course du tiroir, ce qui permet de rapprocher les coquilles et de les mettre de nouveau en contac avec le distributeur, lorsqu'il s'est produit du jeu entre ces pièces. On peut visiter le tiroir

et nettoyer les parties frottantes, et au besoin desserrer les écrous qui fixent le tiroir sur sa tige, par la porte 4 de la boîte à tiroir. Le tiroir peut être enlevé par cette porte, mais cette opération exige qu'on démonte préalablement le piston suceur et qu'on désempare ensuite complétement la tige. Le mieux est de sortir le tiroir par le haut, après avoir démonté le cylindre du piston suceur.

Le tiroir *Oudridge* est rigoureusement compensé; aucune pression ne l'applique contre les bandes du cylindre. Il est par lui-même moins volumineux qu'un tiroir ordinaire, mais l'ensemble du distributeur occupe un assez grand espace. Avec ce tiroir, le volume des espaces neutres est augmenté, pour chaque orifice du cylindre, de toute la capacité de la coquille correspondante, et ce volume est considérable. L'inconvénient qui en résulte n'a pas une grande importance tant qu'il s'agit d'un cylindre admetteur de machine Woolf, parce que la vapeur qui remplit ces espaces neutres n'est pas évacuée immédiatement au condenseur. Mais il n'en serait pas de même si le tiroir Outridge desservait le cylindre détendeur; les espaces neutres volumineux occasionneraient alors un abaissement sensible de la pression initiale de ce cylindre et, par suite, une perte de travail que ne compenseraient ni la diminution de la contre-pression dans le cylindre admetteur, ni la diminution moins rapide de la pression pendant l'expansion naturelle du cylindre détendeur. — Ajoutons que les parois des coquilles d'évacuation présentent de larges surfaces en contact, soit avec la vapeur qui remplit la boîte à tiroir, soit avec les coquilles d'introduction. Cette circonstance est favorable au réchauffement de la vapeur qui sort du cylindre admetteur pour aller travailler dans le cylindre détendeur. Mais il en résulterait des condensations considérables si le tiroir qui nous occupe était appliqué sur un cylindre ordinaire ou sur un cylindre détendeur de machine Woolf.

Terminons en faisant remarquer qu'il n'y a pas de soulèvement possible du tiroir dans le cas de fortes projections d'eau, et qu'il faut par suite que les soupapes de sûreté du cylindre soient suffisantes pour prévenir tout accident. Ces soupapes de sûreté communiquent avec les orifices mêmes du cylindre admetteur par les conduits 5.

Tiroir fixe pour machines oscillantes. — On a souvent cherché à simplifier la transmission du mouvement des tiroirs des machines oscillantes. Dans ce but, on a imaginé de faire marcher le bouton d'entraînement du tiroir dans une rainure pratiquée sur le bâti, la courbure de cette rainure étant déterminée par les positions que doit occuper ce bouton d'entraînement pour les diverses positions simultanées du tiroir sur sa course et du cylindre dans son oscillation. Ce moyen supprime l'excentrique et l'arc de Penn; jusqu'à présent, il n'a été appliqué qu'aux machines fixes dont l'arbre tourne toujours dans le même sens. Pour changer à volonté le sens de la rotation, il faudrait deux rainures directrices symétriques par rapport au plan de l'axe des tourillons d'oscillation. Il faudrait par suite deux boutons d'entraînement qu'on pourrait enclancher et déclancher à tour de rôle, l'un pour la marche avant, l'autre pour la marche arrière. La courbe que parcourt le galet d'entraînement du tiroir peut d'ailleurs être construite pour telle régulation qu'on désire.

Une simplification plus radicale consiste à rendre le tiroir fixe et à faire frotter la bande du cylindre sur ce tiroir, les surfaces en contact étant cylindriques et concentriques aux tourillons d'oscillation du cylindre moteur. Ce mode de distribution a été appliqué sur l'*Onondaga*, à une petite machine à deux cylindres faisant mouvoir une pompe rotative. Il est représenté par la *fig.* 12, *pl.* V.

Fig. 12, Pl. V. Le tiroir D est fixe et porte trois orifices : l'un *i* pour l'introduction, les deux autres, *e*, *e*, pour l'évacuation. L'orifice d'introduction reçoit la vapeur de la chaudière par le conduit V. Les orifices d'évacuation *e*, *e* aboutissent à un tuyau commun E qui débouche dans un condenseur ou dans l'atmosphère, suivant que la machine fonctionne avec ou sans condensation. Dans le mouvement d'oscillation du cylindre C, les orifices *o*, *o* de ce cylindre viennent alternativement en regard du conduit d'introduction et des conduits d'évacuation *e*, *e*. La vapeur est, par suite, alternativement introduite dans le cylindre sur chacune des faces du piston et évacuée ensuite au condenseur ou dans l'atmosphère.

Sur la *fig.* 12, la ligne médiane du distributeur est perpendiculaire à la ligne des points morts du piston ; mais quelle que soit la position de cette ligne médiane, le distributeur est toujours au milieu de sa course lorsque le piston termine la sienne, puisque l'amplitude d'oscillation du cylindre est partagée en deux parties égales par la ligne des points morts de son piston. Il résulte de cet état de choses que l'angle de calage relatif à la régulation du distributeur qui nous occupe est juste de 90°. Cette régulation ne doit par suite procurer ni détente naturelle ni avances. Dans la position du piston à l'un de ses points morts, les orifices du tiroir et ceux du cylindre doivent être arête sur arête, à l'évacuation comme à l'introduction.

Ce mode de distribution ne convient pas avec l'emploi de la vapeur, car on sait (n° 104_4 du G^d *Traité*) que pour obtenir le maximum de travail effectif dans un cylindre, il faut une détente naturelle de 0,15 environ avec une avance à l'évacuation de 0,1 de la course du piston; or le manque d'avances est une circonstance très-défavorable au bon fonctionnement de la machine. — Mais le mode de distribution dont il s'agit peut convenir aux machines qui marchent avec un liquide comme moteur, l'eau par exemple, lorsqu'on dispose de ce liquide avec une charge suffisante; dans ce cas, le fonctionnement de la machine est amélioré en donnant une faible avance à l'introduction et à l'évacuation, par la diminution de la hauteur de la barrette du tiroir; la machine franchit plus rapidement ses points morts. La perte du liquide résultant de ces avances est peu importante. — Quant à la position du distributeur par rapport au cylindre, elle peut être quelconque. Le distributeur peut même servir d'axe d'oscillation au cylindre si sa ligne médiane et celle des points morts se confondent ou sont parallèles; cette disposition a été appliquée par quelques inventeurs pour de petites machines fonctionnant à pression d'eau.

N° 34_2 Dispositions particulières de tiroirs pour machines Woolf. — Dans la plupart des cas, les distributeurs des machines Woolf sont des tiroirs ordinaires, distincts, un pour chaque cylindre, soit

en coquille, soit en D, ayant ou non la même régulation. Le plus souvent leurs mouvements sont indépendants l'un de l'autre. Cette disposition nécessite toujours des espaces neutres assez volumineux entre le cylindre admetteur et le cylindre détendeur correspondant. L'inconvénient qui en résulte n'est pas grave si les cylindres conjugués sont à points morts discordants (n° 10); mais lorsque ces cylindres ont les points morts communs (n° 9), il importe de réduire autant que possible le volume des conduits de communication (n° 33_2). Dans ce but, et pour le cas particulier de deux cylindres l'un dans l'autre, M. *Dudgeon* a imaginé le double tiroir représenté par la *fig.* 2, *pl.* VI, qui dessert à la fois les deux cylindres. Voici la légende de cette figure, tant au point de vue du tiroir qu'au point de vue des cylindres eux-mêmes:

C Cylindre détendeur, de forme annulaire à cause du cylindre admetteur qui est dans son intérieur. Le couvercle annulaire du cylindre détendeur est du même jet de fonte que ce cylindre. Fig. 2, Pl. VI.

C_1 Cylindre admetteur placée dans l'axe du cylindre détendeur et complétement renfermé dans ce dernier cylindre. La paroi du cylindre admetteur est tournée à l'extérieur et alésée à l'intérieur; elle est venue de fonte avec le fond annulaire du cylindre détendeur, et se boulonne par ce fond sur la collerette de ce dernier cylindre. L'autre extrémité de la paroi du cylindre admetteur fait joint sur le couvercle annulaire du cylindre détendeur.

D Double tiroir en coquille, servant à la fois pour les deux cylindres. Ce tiroir porte de chaque côté deux barrettes séparées par le canal E_1, et qui se promènent sur un nombre égal d'orifices. Les deux barrettes extérieures appartiennent au cylindre admetteur et les deux barrettes intérieures au cylindre détendeur.

D' Cadre et garnitures du compensateur. Ces garnitures sont montées sur le tiroir et se déplacent avec lui; le cadre qui les surmonte frotte d'une manière étanche contre le dos, parfaitement dressé, de la boîte à tiroir.

E Conduit d'évacuation du cylindre détendeur.

E_1 Conduit d'évacuation du cylindre admetteur. Ce conduit est creusé dans l'épaisseur du tiroir; ses extrémités débouchent sur la bande du cylindre, formant ainsi les doubles barrettes du tiroir. Dans le mouvement du distributeur, chacune des extrémités du conduit E_1 se place alternativement sur l'orifice du cylindre admetteur et sur celui du cylindre détendeur, pendant que l'autre extrémité se place sur l'orifice du cylindre détendeur et sur l'orifice du cylindre admetteur du bord opposé.

O Boîte à tiroir dans laquelle afflue la vapeur venant de la chaudière.

o,o Orifices du cylindre détendeur.

o_1,o_1 Orifices du cylindre admetteur. L'orifice du haut traverse le couvercle annulaire du cylindre détendeur et est ensuite prolongé par le couvercle du cylindre admetteur; l'orifice du bas est formé par le fond de ce dernier cylindre, qui est prolongé à cet effet du côté de la boîte à tiroir et se boulonne sur cette boîte.

P Piston annulaire du cylindre détendeur. Ce piston est muni de deux garnitures: l'une, extérieure, est appuyée contre la paroi du cylindre détendeur; l'autre, intérieure, qui embrasse complétement le cylindre admetteur.

P_1 Piston du cylindre admetteur. Ce piston à la forme ordinaire et ne porte qu'une seule garniture.

Q Tige du tiroir traversant le distributeur dans une gaîne qui l'isole complétement du conduit d'évacuation E_1. Cette gaîne diminue bien la section libre de ce conduit, mais cette section est encore supérieure à celle d'un des orifices du cylindre admetteur.

Q' Contre-tige du tiroir servant de guide au distributeur, la bande du cylindre étant verticale. La contre-tige Q' est formée par le prolongement de la tige Q.

s Cavités des couvercles de cylindre pour diminuer le poids de ces pièces, et dans lesquelles circule de la vapeur réchauffante.

T Tiges de piston du cylindre détendeur, au nombre de deux, situées dans le plan horizontal de l'axe commun des cylindres. Ces tiges se fixent sur la même traverse.
T_1 Tige de piston du cylindre admetteur, placée dans l'axe de ce cylindre. Cette tige se fixe sur le milieu de la traverse commune aux tiges T du cylindre détendeur.
T'_1 Contre-tige de piston du cylindre admetteur, venu de forge avec la tige T_1.
1 Presse-étoupe de tige de piston du cylindre détendeur.
2,2 Presse-étoupe de tige et de contre-tige de piston du cylindre admetteur.
3,3' Presse-étoupe de tige et de contre-tige du tiroir.
4 Tôle formant enveloppe autour du cylindre détendeur et emprisonnant une couche d'air pour prévenir le refroidissement extérieur de ce cylindre.
4' Tôle emprisonnant entre elle et les fonds des cylindres une couche d'air pour prévenir le refroidissement extérieur de ces fonds.

Sur la *fig.* 2 *pl.* VI, les pistons sont au milieu environ, de leur course descendante et le tiroir monte pour fermer les orifices d'introduction du haut. La vapeur de la chaudière arrive dans la boîte à tiroir, y remplit tout l'espace autour de la partie extérieure du distributeur et pénètre encore dans le haut du cylindre admetteur. La vapeur du bas de ce cylindre passe par l'orifice o_1, traverse le conduit d'évacuation E_1 et pénètre dans le haut du cylindre détendeur. La vapeur du bas de ce dernier cylindre passe par l'orifice o et pénètre dans le conduit d'évacuation E pour se rendre au condenseur. — Au coup de piston suivant, la vapeur de la boîte à tiroir s'introduira dans le bas du cylindre admetteur, tandis que la vapeur du haut de ce cylindre sera évacuée par le conduit E_1, et introduite dans le bas du cylindre détendeur. Enfin la vapeur du haut de ce dernier cylindre sera évacuée au condenseur.

On remarque que les orifices d'introduction du haut des deux cylindres ne sont pas ouverts de la même quantité, quoique les tiroirs soient invariablement liés l'un à l'autre. Il en résulte des régulations différentes pour les deux cylindres. L'introduction du cylindre admetteur et l'évacuation du cylindre détendeur sont des fonctions complétement indépendantes de la communication des deux cylindres, et qu'il est possible de régler comme s'il s'agissait d'un tiroir ordinaire. Il n'en est pas de même pour l'évacuation du cylindre admetteur et l'introduction du cylindre détenteur. Le volume des espaces neutres entre les deux cylindres étant très-faible, la période de compression dans le cylindre admetteur commence réellement dès que l'introduction du cylindre détendeur cesse: il faut par suite donner à cette introduction une grande valeur. Pour chaque orifice du cylindre détendeur, le recouvrement à l'introduction est fait égale au recouvrement à l'évacuation pour l'orifice opposé du cylindre admetteur; de cette façon, les deux orifices par lesquels la vapeur passe d'un cylindre dans l'autre, s'ouvrent et se ferment en même temps. Il va de soi que la hauteur de chaque barrette intérieure du tiroir est plus grande que l'orifice correspondant du cylindre détendeur, afin que l'évacuation de ce cylindre ne puisse être ouverte qu'après que l'introduction a cessé. — Cette régulation donne au cylindre détendeur une avance à l'introduction considérable dont l'effet, nuisible au bon fonctionnement de la machine, est heureusement annulé en grande partie, par ce fait qu'il n'y a pas en réalité d'avance sensible à l'évacuation du cylindre admetteur. En effet, bien que

les orifices de ce cylindre soient ouverts avant l'arrivée du piston au point mort, la perte de pression que subit la vapeur est insignifiante, car elle résulte seulement de la communication de ce cylindre admetteur avec le conduit E_1 dont le volume est très-faible.

En résumé, la régulation qui résulte de l'emploi de ce double tiroir n'est certainement pas des plus convenables. D'un autre côté, la coquille d'évacuation au condenseur étant entourée par le canal de communication des deux cylindres, la vapeur qui passe dans ce dernier canal cède inutilement une grande partie de sa chaleur. Le même reproche peut d'ailleurs être adressé à l'installation des deux cylindres l'un dans l'autre.

Le mode de distribution qui nous occupe ne peut être avantageux qu'au point de vue de la réduction des espaces neutres, en faisant économiser une grande quantité de vapeur qui est perdue avec les tiroirs distincts dans des boîtes séparées.

N° 34_2 Distribution Corliss. — La réalisation effective des détentes très-étendues dans le même cylindre, présente de grandes difficultés lorsqu'on emploie comme distributeurs des tiroirs ordinaires. Ces tiroirs suffisent pour des introductions de 0,7 à 0,6, mais ils ne sauraient donner des résultats satisfaisants pour des détentes plus grandes, tant à cause des étranglements de vapeur que de l'accroissement des périodes de compression qui résultent de l'augmentation de l'angle de calage. Les organes spéciaux de détente variable ont bien l'avantage de ne pas déranger la régulation du côté de l'évacuation, mais ils produisent, comme les tiroirs, des étranglements considérables de vapeur. D'un autre côté, comme ces organes sont toujours placés en avant des tiroirs, les espaces neutres sont très-grands, au détriment du bon emploi de la vapeur.

Le principe de la distribution *Corliss* consiste à remplacer le tiroir unique par quatre distributeurs distincts, dont deux à mouvement intermittent servant pour l'admission, et les deux autres, à mouvement incessant, pour l'échappement. De cette façon, on peut assigner à chacun d'eux le régime qui lui est propre sans que les conditions qui conviennent à l'introduction de la vapeur, par exemple, puissent troubler celles qui sont relatives à l'évacuation. Ce mode de distribution est représenté par la *fig.* 13, *pl.* V. En voici la légende :

A Pièce fixe faisant partie des bâtis de la machine, et portant les bossages 1, 2, 3, respectivement destinés à recevoir les axes d'oscillation des pièces F,B,T. Fig. 13, Pl. V.

B Tourteau oscillant sur un axe 2 porté par la pièce fixe A. Ce tourteau reçoit d'un excentrique claveté sur l'arbre de couche et dont la bielle q s'enclanche en 4, un mouvement d'oscillation qu'il transmet aux distributeurs. A cet effet, le tourteau B porte quatre tourillons : les tourillons 5 et 6 conduisent les tiroirs d'introduction; les tourillons 7 et 8 conduisent les tiroirs d'évacuation.

C Cylindre à vapeur.

D,D′ Tiroirs d'introduction et tiroirs d'évacuation. Ces tiroirs sont cylindriques, et logés dans des boîtes de même forme qui communiquent avec le cylindre par les orifices rectangulaires *o*,*o′* pratiqués dans sa paroi, perpendiculairement à son axe. Les tiroirs d'introduction D portent sur les orifices *o*, tandis que les tiroirs d'évacuation D′ portent sur des orifices E pratiqués sur la paroi de la boîte de chacun des tiroirs, normalement aux orifices *o′*. Il résulte de cette disposition que la vapeur tend toujours à appliquer les tiroirs contre leurs orifices, aussi bien du côté de l'évacuation que du côté de l'introduction. Pour que le contact ait toujours lieu, malgré l'usure des parties frottantes, les tiges des tiroirs ne sont pas fixées à ces organes; leur disposition est expliquée en Q.

E Conduits d'évacuation. Ces deux conduits aboutissent à un tuyau commun E′ qui va déboucher au condenseur.

F Leviers de transmission de mouvement du tourteau B aux pièces conductrices des tiroirs d'introduction. Il existe deux leviers semblables, un pour chaque tiroir; ces leviers oscillent autour d'un axe commun 1 porté par la pièce fixe A; chacun d'eux reçoit son mouvement du tourteau B par l'intermédiaire de la bielle G articulée en 9 sur le levier F, et, suivant le tiroir d'introduction, en 5 ou en 6 sur le tourteau B. — L'extrémité supérieure du levier F porte l'articulation 10 destinée à recevoir le linguet H.

f,G′,*g* Système de rappel de chaque tiroir d'introduction. Un ressort à lame *f*, appliqué sur une nervure qui règne dans toute la longueur du levier F, est fixé à ce levier par son extrémité inférieure; à l'extrémité opposée du ressort *f* est rivetée une articulation G′ destinée à recevoir une bielle de rappel *g*, par l'intermédiaire de laquelle le ressort *f* agit sur les pièces de la transmission de mouvement du tiroir d'introduction correspondant.

G Bielle par l'intermédiaire de laquelle le tourteau B transmet son mouvement d'oscillation au levier F.

H,I,M,*m* Transmission de mouvement de chaque levier F au tiroir d'introduction correspondant. Le linguet H, maintenu en poste par son propre poids ou par l'action d'un ressort, agit par poussée sur la tige I, parfaitement guidée en ligne droite; à l'extrémité de cette tige s'articule la bielle M, qui actionne le distributeur par l'intermédiaire du levier *m*, monté sur la tige de cet organe, — Le linguet H est articulé en 10, à l'extrémité du levier F; il est formé de deux parties : l'une H, pousse sur l'extrémité *i* de la tige I; l'autre *h* est recourbée et vient rencontrer dans son mouvement un butoir *t* qui l'oblige à se baisser, en relevant la partie H du linguet, d'où résulte le déclanchement de cette pièce, qui abandonne alors l'extrémité *i* de la tige de transmission I. — Pendant que le levier F actionne le tiroir, le linguet H étant enclanché, la tige I agit par l'intermédiaire de la bielle *g* sur le ressort *f*, qui, de la sorte, reste toujours bandé. Au moment où le déclanchement du linguet H se produit, le ressort *f* rappelle vivement la tige I, et par suite le tiroir d'introduction correspondant.

K Butoir limitant la course rétrograde de la tige I sous l'action du ressort *f*, et frein à air pour éviter qu'il se produise des chocs préjudiciables au bon fonctionnement du distributeur. Le piston *k* est monté sur la tige I et se meut dans le cylindre K fixé à l'extrémité de la pièce A. Le cylindre K est ouvert par une de ses extrémités; sur l'unique fond qu'il possède, du côté du ressort de rappel, est pratiquée une petite ouverture munie d'un obturateur à vis. Pendant que le levier F pousse la tige I, l'air pénètre par aspiration dans le cylindre, à travers l'ouverture précitée; quand le déclanchement se produit, l'air est vivement chassé par le piston, et fait une résistance suffisante pour que ce dernier vienne butter contre le fond du cylindre sans produire un choc trop considérable.

N,*n* Bielles et leviers de transmission de mouvement du tourteau B aux tiroirs d'évacuation.

O Boîtes à tiroir d'introduction.

o Orifices de communication des boîtes O avec le cylindre. Ces orifices sont rectangulaires.

O′ Boîtes à tiroir d'évacuation.

- *o'* Orifices de communication des boîtes O' avec le cylindre. Ces orifices sont rectangulaires.
- P Piston à vapeur.
- Q Tiges des tiroirs. Pour chaque tiroir, la tige Q porte une partie rectangulaire qui s'engage dans une mortaise de même forme pratiquée dans le distributeur et suivant son axe. L'extrémité supérieure de la tige Q est cylindrique et traverse une boîte à étoupe ordinaire 11, et un support 12 dans lequel elle tourne à frottement doux, pour recevoir ensuite le levier *m* ou *n*, à l'extrémité duquel s'articule la bielle M ou N de la transmission de mouvement. Le système d'emmanchement des tiges Q sur les tiroirs permet à ces derniers d'être toujours parfaitement appliqués sur leurs orifices, quelle que soit d'ailleurs l'usure des parties frottantes.
- *q* Bielle d'excentrique dont le pied s'enclanche en 4 sur le tourteau B. Il n'existe qu'un excentrique pour conduire les quatre distributeurs.
- T Butoir pour produire en temps opportun le déclanchement des linguets H. Ce butoir a la forme d'un levier coudé oscillant en 3, sur un axe porté par la pièce fixe A. La branche verticale est terminée par une traverse à angle droit sur son plan, et dont les deux extrémités portent les touches en acier *t*; chacune de ces touches sert de butoir à un des linguets H. La branche horizontale est reliée à un modérateur à force centrifuge par deux bielles qui viennent s'articuler en 13; ce modérateur élève ou abaisse la branche horizontale du butoir suivant que le mouvement s'accélère ou se ralentit, et fait, par suite, que la partie recourbée *h* du linguet rencontre plus tôt ou plus tard la touche de déclanchement *t*.
- V Tuyau général d'arrivée de vapeur aux boîtes à tiroir d'introduction.
- *v* Canal d'introduction de la vapeur dans chacune des boîtes à tiroir O.

Le calage de l'excentrique sur l'arbre de couche est déterminé eu égard au degré d'avance à l'évacuation et de compression que l'on veut produire. Il en résulte que les tiroirs d'évacuation D' se meuvent exactement comme s'ils étaient conduits directement par cet excentrique. — L'action de l'excentrique ne se fait sentir sur les tiroirs d'introduction que pendant la période d'admission. Les transmissions de mouvement étant réglées pour que chacun de ces tiroirs ouvre son orifice d'une quantité égale à l'avance quand le piston est au point mort, le linguet H pousse à ce moment la tige I et le tiroir correspondant ouvre de plus en plus son orifice à mesure que la machine tourne. Au moment voulu pour la cessation de l'introduction, la branche *h* du linguet rencontre le buttoir *t*, le déclanchement se produit, et le ressort *f* rappelant vivement, le tiroir se meut immédiatement en sens contraire et ferme son orifice en le recouvrant d'une certaine quantité. La position du cylindre-frein dont le piston *k* limite, par son contact avec le fond du cylindre, cette course rétrograde du tiroir, est déterminée de manière que ce dernier ne découvre pas son orifice par l'arête opposée à celle de l'introduction. — Lorsque le tiroir est immobile, l'introduction fermée, le levier F n'en continue pas moins son oscillation ; le linguet H glisse sur la touche *i* de la tige de transmission et l'extrémité supérieure du levier F s'écarte de plus en plus du ressort *f*, qui, par suite, se débande.

Lorsque la course est terminée, le levier F revient sur ses pas; son extrémité supérieure se rapproche du ressort *f* qui reprend sa bande. Un peu avant que le levier F n'arrive à l'extrémité de sa nouvelle oscillation, le linguet H retombe sur la touche *i*, et lorsque cette oscillation est terminée, il y a un certain jeu entre l'encoche rectangulaire du linguet et cette touche; à ce moment, le ressort *f* possède son maximum de bande. — Le jeu dont il vient d'être question n'a pas besoin d'être considérable, mais il est nécessaire pour que l'enclanchement soit assuré, même après qu'il s'est produit une certaine usure dans les articulations, parce que le ressort *f* tend toujours à retarder l'enclanchement du linguet. — Il résulte du jeu en question que le linguet H marche un instant seul sans actionner le tiroir, et que ce n'est qu'au moment où l'encoche de ce linguet vient en contact avec la touche *i*, que le tiroir est mis en mouvement. Pendant ce temps, le ressort *f* perd un peu de sa bande, qui reste d'ailleurs ensuite la même jusqu'à ce que le déclanchement se produise de nouveau.

Les articulations 5 et 6 qui conduisent les tiroirs d'introduction, ont leur position déterminée sur le tourteau B par la condition que chacune de ces articulations se trouve sur la ligne des centres des articulations 2 et 9, lorsque le levier F est à l'extrémité de sa course où l'enclanchement du linguet correspondant vient de se produire. Il en résulte que l'espace angulaire compris entre les articulations 5 et 6 est juste égal à l'amplitude de l'oscillation du tourteau B. La réalisation de la condition qui vient d'être énoncée n'est pas rigoureusement indispensable; mais elle est très-favorable au bon fonctionnement du linguet, dont l'encoche a un peu dépassé la touche *i* lorsque le levier F est à l'extrémité de sa course, et qui par suite de cette disposition, revient en prise avec cette touche sans choc appréciable.

Chaque tiroir d'introduction possède un certain recouvrement au moment où le linguet H commence à actionner sa transmission de mouvement. Ce tiroir aura donc oscillé de tout son recouvrement, plus de la quantité égale à l'avance, lorque le piston sera au point mort. Dans la détermination du recouvrement de chaque tiroir, il faut tenir compte de la position de l'articulation correspondante, 5 ou 6 sur le tourteau B, ainsi que de l'avance à l'introduction et du jeu qui doit exister entre la touche *i* et l'encoche du linguet H. — D'autre part, l'excursion du levier F dans son oscillation rétrograde est

limitée par la condition que ce levier ne vienne pas butter contre l'articulation G', parce que cette articulation ne peut plus reculer dès que le piston *k* porte sur le fond de son cylindre. Il faut que la longueur de la bielle *g* ou de la tige I, ainsi que la longueur de la bielle G soient déterminées pour satisfaire à cette condition.

La position des articulations 7 et 8 qui conduisent les tiroirs d'évacuation est déterminée sur le tourteau B, eu égard aux directions données aux leviers *n* de ces tiroirs. Dans leur position moyenne d'oscillation, ces leviers sont à peu près parallèles aux lignes qui joignent les articulations 7 et 8 au centre 2 du tourteau B. — Les recouvrements des tiroirs d'évacuation dépendent de la valeur de l'angle de calage de l'excentrique; ces recouvrements peuvent être nuls si l'angle de calage vaut 90° plus l'avance angulaire à l'évacuation. Comme les machines munies du distributeur qui nous occupe fonctionnent à grande détente, l'avance à l'évacuation et la période de compression sont relativement faibles; il en est de même de l'angle de calage, ce qui est une condition favorable pour l'ouverture rapide des orifices.

Le distributeur Corliss donne des introductions aussi faibles que l'on veut, 0,05 par exemple de la course, si on le juge convenable. Néanmoins, une admission aussi réduite est plutôt nominative que réelle, car, malgré toutes les précautions prises, les espaces morts ont une influence très-appréciable en comparaison du faible volume de vapeur admise ; par suite, la détente est, en réalité, moindre que celle qui est annoncée. Elle est cependant beaucoup plus approchée que dans le système ordinaire à détente directe, et les diagrammes présentent une régularité parfaite, tant du côté de l'introduction que de celui de l'échappement. Ces avantages sont rachetés par la délicatesse et la complication du mécanisme de distribution; toutes les articulations des bielles de transmission doivent être faites avec le plus grand soin et avoir des serrages qui permettent de prévenir tout ballotement; en outre, leurs longueurs doivent être suceptibles de réglage et, à cet effet, elles sont pourvues de parties taraudées au moyen desquelles on peut les allonger ou les raccourcir à volonté. — Les touches des linguets qui actionnent les tiroirs d'admission doivent être, ainsi que les butoirs correspondants, en acier trempé très-dur, sans cela les uns et les autres s'émousseraient très-rapidement et seraient bientôt hors de service. Quelles que soient les dispositions prises, il est visible qu'en raison de la délicatesse et de la

complication du mécanisme, le distributeur Corliss n'est pas applicable sur des machines dont l'allure dépasse 45 à 50 tours par minute. Ce mode de distribution n'a encore été employé que pour des machines fixes fonctionnant toujours à un même nombre de tours, et dans lesquelles tout écart de régime est corrigé par une variation du degré d'introduction, ce qui est très-avantageux.

Il existe déjà de nombreuses variétés du distributeur Corliss, différant entre elles soit par la position du tourteau sur lequel sont articulées les bielles des tiroirs, soit par divers détails du mécanisme de déclanchement des tiroirs d'admission au moment où l'introduction doit cesser. — Une des plus remarquables est celle qui a été imaginée par MM. *Béde* et *Farcot*; voici en quoi elle consiste. Les tiroirs sont toujours cylindriques, mais au lieu d'être placés tangentiellement au cylindre, ces distributeurs sont logés dans les couvercles qui, à cet effet, sont à double fond et ont une grande épaisseur. Les orifices d'admission et d'évacuation se trouvent ainsi pratiqués dans une paroi plane, de sorte que les espaces neutres sont réduits à un minimum. Une chemise de vapeur qui entoure le cylindre et qui a un volume considérable, alimente les boîtes d'introduction. — Une transmission de mouvement à engrenages coniques actionne un arbre vertical placé à côté du cylindre et vers le milieu de sa longueur; cet arbre porte à sa partie supérieure le modérateur à force centrifuge; sur sa partie inférieure est montée une came triangulaire qui conduit un chariot maintenu entre deux glissières horizontales et sur lequel viennent s'articuler les bielles des tiroirs d'évacuation. Une deuxième came située au-dessus de la première conduit un autre chariot qui actionne, au moyen de linguets à déclanchement, deux tiges horizontales sur lesquelles sont articulées les bielles des tiroirs d'introduction. — Chaque linguet est formé de deux branches recourbées l'une vers l'autre et offrant l'aspect d'une moitié d'ellipse allongée qu'on aurait coupée suivant son petit axe, cette moitié oscillant autour de son sommet. La branche inférieure du linguet porte l'enclanchement et agit par poussée sur la tige conductrice du tiroir correspondant. La branche supérieure se meut entre deux traverses faisant partie d'un manchon enfilé sur l'arbre vertical, pouvant glisser sur cet arbre, mais non tourner avec lui; ce manchon est relié à la douille d'entraînement du modérateur, et les traverses qu'il porte de chaque côté sont réunies à leurs extrémités par un boulon sur lequel se trouve un galet. Lorsque la branche supérieure du linguet vient butter contre le galet, le déclanchement se produit. — Le rappel de la tige de chaque tiroir est effectué par un ressort à boudin enroulé sur cette tige, et s'appuyant sur le fond d'une boîte fixée aux bâtis; un frein à air semblable à celui dont il a déjà été question, empêche les chocs violents de se produire. — Le changement du degré d'introduction est réglé par le modérateur, qui fait monter ou descendre le manchon porteur des galets d'arrêt. A cause de la courbure de la branche de chaque linguet, le déclanchement de la tige conductrice du tiroir s'effectue d'autant plus tôt que ce manchon d'arrêt

est plus élevé, le linguet étant toujours maintenu en contact avec la tige conductrice du tiroir par l'action d'un ressort.

N° 34_4 Améliorations de détail apportées à la mise en marche Mazeline, et considérations relatives à ce mécanisme. — La mise en train *Mazeline* (n° 134_1 du *Gd Traité*), était, en principe, dépourvue de toute espèce de frein pouvant empêcher le ballottement des engrenages de ce mécanisme, dans les mouvements irréguliers de l'arbre; elle était par suite très-bruyante. Pour remédier à cet inconvénient, l'usine d'*Indret* a construit pour cette mise en train un frein très-solide, représenté en *fig.*8, *pl.* VI, et dont voici la légende :

Fig. 8, Pl. VI.

a Extrémité avant de l'arbre des tiroirs, au delà de la grande roue dentée qui engrène avec celle de l'arbre moteur.

a' Partie cylindrique servant de butoir au moyeu du volant de manœuvre et portant la grande roue dentée.

b Partie hexagonale qui prolonge l'arbre des tiroirs et qui est venue de forge avec lui.

c Prisonnier cylindrique taraudé extérieurement avec un pas à gauche et rapporté sur l'extrémité avant de l'arbre des tiroirs; ce prisonnier est vissé avec un taraudage de pas à droite dans la partie hexagonale *b* qui termine l'arbre, et y est fixé à demeure par une goupille.

d Manchon en fer sur lequel est monté le volant *m* de manœuvre de la mise en train. Ce manchon fait corps avec le pignon qui engrène avec la roue satellite. Le volant *m* est fixé au moyen de deux clavettes longitudinales. Le manchon *d* porte une chemise intérieure en bronze, alésée au diamètre de la partie *a* de l'arbre des tiroirs, et qui tourne à frottement doux sur cet arbre.

F Moyeu du volant de manœuvre *m* de la mise en train, fixé, comme il vient d'être dit, sur le manchon *d*. Ce moyeu et le volant *m* sont en bronze et de la même coulée.

G Parties saillantes du moyeu F, au nombre de deux diamétralement opposées, et présentant, vues debout, la forme de deux fractions de couronnes, vue 2°, dont les faces longitudinales dans le sens des rayons sont taillées en hélice.

g Frein en fer portant deux griffes, ayant également la forme de portions de couronnes dont les faces suivant le rayon sont taillées en hélice. Ces deux portions de couronnes font corps avec un moyeu ajusté à frottement doux sur la partie hexagonale *b* qui termine le bout de l'arbre du tiroir.

m Volant de manœuvre de la mise en train, venu de fonte avec son moyeu F, lequel est fixé, ainsi qu'il a été expliqué, sur le manchon en fer *d*.

m' Volant de manœuvre du frein. Le moyeu du frein *g* porte un évidement intérieur dans lequel se loge la tête d'un boulon en fer percé suivant son axe et taraudé sur le prisonnier *c*. L'extrémité de ce boulon fait saillie sur l'avant et se taraude extérieurement, avec un pas à droite, dans le moyeu du volant *m'*; trois petites vis engagées mi-partie dans le boulon précité et mi-partie dans le moyeu du volant *m'*, rendent ces deux pièces solidaires.

r Pignon en fer faisant corps avec le manchon *d*, et engrenant avec la roue satellite de la mise en train.

1 Faces de contact des griffes du frein avec celles du moyeu du volant *m*, pour la marche avant.

2 Faces de contact des griffes du frein avec celles du moyeu du volant *m*, pour la marche arrière.

3 Écrou goupillé à l'extrémité du prisonnier *c* pour limiter la course de la griffe du frein, afin que son moyeu n'abandonne jamais la partie hexagonale *b* sur laquelle il est emmanché à frottement doux.

Sur la *fig.* 8, le frein est en poste pour la marche avant; les griffes portent par leurs faces de contact 1. Le volant *m'* et le boulon sur lequel le volant est taraudé sont solidaires; ce dernier tourne librement dans le moyeu du frein entraînant celui-ci, soit pour l'enfoncer, soit pour le dégager, suivant qu'on tourne le volant *m'* à gauche ou à droite. Dans ces mouvements, le frein ne peut marcher que parallèlement à lui-même, sans tourner par rapport à l'arbre des tiroirs, à cause de son emmanchement à frottement doux sur la partie hexagonale *b*. On sait (n° 134_1, du *Gd Traité*), que pour placer la mise en train *Mazeline* dans la position qui convient à un sens déterminé de la marche, il faut agir sur le volant *m* dans le sens même du mouvement de rotation que prendra l'arbre des tiroirs quand la machine sera mise en route. Or, on remarque que le frein agit précisément sur le moyeu du volant *m* par les faces de contact 1 des griffes, dans le sens du mouvement qu'il faut imprimer à ce volant. Il en résulte que s'il survient un jeu quelconque, ou même si on serre le frein avant que le système de renversement de marche soit complétement à bloc, pourvu que les griffes puissent s'engager, ces dernières appuieront sur les griffes du moyeu du volant de mise en train, obligeront ce moyeu à tourner à mesure qu'elles s'enfonceront, jusqu'à ce que le mécanisme de renversement de marche soit à bloc. C'est ce mouvement de rotation du moyeu du volant *m*, par rapport à l'arbre des tiroirs, alors que le frein ne peut qu'avancer parallèlement à lui-même, qui motive la forme hélicoïdale des faces des griffes, afin que le contact ait lieu sur toute la partie engagée du frein. Si ces faces de contact étaient planes, les griffes ayant la forme de simples coins, l'étendue du portage diminuerait à mesure que les griffes s'enfonceraient davantage et finirait par se réduire à l'arête intérieure; il y aurait par suite peu de tenue, en raison du mattage qui ne tarderait pas à se produire.

Pour renverser la marche, il faut commencer par desserrer le frein en agissant sur le volant *m'*, qu'on fait tourner à droite. Le boulon sur lequel le volant est fixé tourne avec lui et entraîne le frein qu'il desserre. L'écrou 3 limite la course du frein; mais il faut avoir soin de ne pas arriver brusquement sur cet écrou afin de ne pas coincer le volant *m'*. Le volant *m* de la mise en train étant devenu libre, on renverse la marche, et, cette opération terminée, on enfonce le frein en faisant tourner le volant *m'* à gauche. Les griffes du frein viennent en contact avec celles du volant *m*, par les faces 2, appuient

ce volant dans le sens du mouvement qu'on lui a imprimé pour renverser la marche, et tendent par suite à maintenir la mise en train à bloc ou à l'y mettre si elle n'y était pas exactement. Les faces de contact des griffes pour la marche arrière sont taillées en hélicoïdes comme celles de la marche en avant.

Le taraudage du boulon d'entraînement du frein sur le prisonnier fixé à l'extrémité de l'arbre des tiroirs est de pas à gauche, parce que l'arbre, vu de l'avant, tourne à droite lors de la marche avant, et qu'une résistance accidentelle agissant sur le volant de manœuvre m' du frein, tendrait, grâce à ce pas à gauche, à enfoncer le frein au lieu de le desserrer.

Sur la *fig.* 8, la mise en train est dans la position de la marche avant et le frein est serré. Les faces des griffes du frein et du moyeu du volant de la mise en train qui seront en conctact lors de la marche arrière, laissent maintenant entre elles un espace vide, ayant la forme d'un secteur dont la base est l'arc 2, 2. Il y a évidemment avantage à réduire le plus possible le nombre de degrés de cet arc afin de donner plus de largeur aux griffes du volant et d'augmenter par suite leur solidité. En faisant tourner le volant de mise en train, pour renverser la marche, l'arbre des tiroirs tourne en sens contraire, et lorsque la mise en train est à bloc, cet arbre a décrit un arc égal à deux fois le supplément de l'angle de calage. Pendant ce temps, le volant de la mise en train fait un nombre de tours, généralement égal à 1 plus une fraction, et dont la détermination est indiquée au n° 134_1 du *Gd Traité*. Lorsque la mise en train est à bloc pour la marche en arrière et le frein serré, les faces 1 des griffes du frein et du volant m forment un angle égal à celui que forment, pour la marche avant, les faces de contact pour la marche arrière. Il faut remarquer que chacune des griffes du frein n'a pas besoin de tomber, lors de la marche arrière, dans le même évidement du moyeu où elle était engagée lors de la marche avant; ces griffes pouvant avoir changé d'évidement et occuper par rapport au moyeu, des positions opposées.

Si l'on désigne par k la fraction excédant le tour complet fait par le volant m dans le renversement de marche, ce volant devrait encore décrire un angle égal à 360° $(1 - k)$ pour repasser à son point de départ. Mais le frein entraîné dans le mouvement de l'arbre des tiroirs s'est avancé vers le volant, d'un angle α égal à l'angle du toc. L'intervalle qui sépare les faces du frein et du volant qui étaient en contact lors de la marche précé-

dente sera donc mesuré par :

$$x^{\circ} = 360\,(1-k)-\alpha.$$

Si x ainsi déterminé vaut plus de 180 degrés, sa véritable valeur est $x-180°$, et dans ce cas les griffes du frein ne s'engagent pas dans le même évidement pour les deux sens de la marche.

Si on voulait faire $x=0$, on aurait :

$$360\,(1-k)=\alpha;$$

d'où :

$$k=1-\frac{\alpha}{360}.$$

Ce résultat peut être facilement obtenu par l'adoption d'un rapport convenable entre le rayon de la roue satellite et le pignon r monté sur le moyeu du volant de la mise en train. Toutefois, il ne convient pas de rendre x nul, car il faut laisser entre les faces non agissantes des griffes un intervalle suffisant pour permettre le serrage à bloc du frein, sans que ces faces forcent l'une sur l'autre.

Supposons qu'on veuille laisser à x une valeur de 10°, l'angle α étant de 120°, comme dans la plupart des machines Woolf à trois cylindres, on aura :

$$k=1-\frac{x+\alpha}{360}=1-\frac{130}{360}=0{,}64.$$

Donc le volant de mise en train devra faire, lors du renversement de marche, $1^{\text{tour}},64$ pour que chaque griffe du frein retombe pour la marche arrière dans l'évidement du moyeu où elle était engagée lors de la marche avant, si le rapport des engrenages de la mise en train était tel que le volant fasse un demi-tour de plus ou un demi-tour de moins, les griffes du frein changeraient d'évidement. Enfin si le volant faisait 0,25 de tour en plus ou en moins, le moyeu du volant devrait avoir deux paires d'évidements, l'une pour recevoir les griffes du frein lors de la marche avant et l'autre pour recevoir ces griffes lors de la marche arrière. Ces griffes devraient par suite avoir un développement beaucoup moindre que celui qui est indiqué par la *fig.* 8. On trouve une disposition semblable à celle dont nous venons de parler sur les machines à deux cylindres pour lesquelles $\alpha=100°$, le volant de mise en train faisant $1^{\text{tour}},46$, ce qui donne :

$$x=360\,(1-0{,}46)-100=94°{,}40.$$

Ce qui indique bien l'existence de deux paires d'évidements, avec largeur de griffe de frein réduite ; car cet angle de 94° est la somme des deux arcs interceptés par la griffe du frein et la griffe du moyeu du volant.

Dans tous les cas, il est bien évident que l'ajustage des griffes du frein sur celles du moyeu du volant se trace et se fait en mettant successivement la mise en train à bloc d'abord pour la marche en avant, puis pour la marche en arrière.

N° 34, Mise en marche Maudslay. — Le mécanisme de renversement de marche que *Maudslay* a appliqué sur la plupart des machines

à bielle en retour est représenté en *fig.* 9, *pl.* VI; voici la légende de cette figure :

Fig. 9, Pl. VI

A Arbre de couche de la machine.

a Arbre des tiroirs.

C Cylindre à vapeur.

e Manivelle du tiroir dans la position de la marche avant.

e' Position de la manivelle du tiroir pour la marche arrière.

G Glissière en arc de cercle pratiquée dans les bâtis; les deux arcs de cercle qui forment cette glissière sont concentriques, et leur centre est déterminé pour que, pendant le déplacement de la mise en train, l'axe de la roue R'_1 reste toujours à la même distance de l'axe de l'arbre des tiroirs.

g Coulisseau qui se meut dans la glissière G. Ce coulisseau est porté par un tourillon fixé au bras N.

H Palier de l'arbre moteur.

h Palier de l'arbre des tiroirs.

L, L', *l*, *l'* Bielles et leviers de la transmission de mouvement pour renverser la marche. L'articulation du levier *l'*, à la partie inférieure du bras N, se trouve sur le prolongement de la ligne des centres des roues satellites R_1 et R'_1.

M Grande manivelle.

M' Manivelle fictive.

m Volant à poignées pour effectuer le changement de suspension du mécanisme de renversement de marche.

m' Vis à filets carrés à l'extrémité inférieure de laquelle est articulée la bielle L, et qui porte, à cette extrémité, une tête formant coulisseau dans une glissière verticale du bâtis *n'*. Cette vis ne peut prendre, par suite de cette disposition, qu'un mouvement vertical dans le sens de son axe; ce mouvement lui est donné par le pignon d'angle *r'*, dans lequel cette vis se taraude.

N Double bras formé de deux flasques portant les axes des roues dentées R' et R'_1, par l'intermédiaire desquelles la roue R de l'arbre moteur transmet le mouvement de rotation de cet arbre à la roue R' de l'arbre des tiroirs, et par suite à cet arbre lui-même. Le bras N porte également l'axe du coulisseau *g* qui, concurremment avec le levier *l'*, sert de guide à ce bras dans le déplacement qu'il éprouve pendant le renversement de marche. Les deux flasques du bras N sont recourbées à la partie supérieure, pour que l'entretoise qui les maintient sur ce point ne vienne pas heurter la roue R' lorsque la mise en train est dans la position qui convient pour la marche arrière.

n Bâtis de la machine et de l'arbre des tiroirs.

n' Bâtis des pièces motrices du mécanisme de renversement de marche.

O Boîte à tiroir.

o, *o'* Axes d'oscillation des leviers *l* et *l'*; ces axes sont fixes sur les bâtis. La position de l'axe *o'* est déterminée pour que, dans les deux positions extrêmes de la mise en train, la roue satellite R_1 engrène toujours avec la roue R de l'arbre moteur.

Q Tige du tiroir.

q Bielle d'excentrique de tiroir.

R Roue dentée clavetée sur l'arbre moteur.

R' Roue dentée clavetée sur l'arbre des tiroirs.

R_1. R'_1 Roues intermédiaires de la transmission de mouvement de l'arbre de couche à l'arbre des tiroirs. Les quatre roues dentées ci-dessus ont un égal diamètre; les deux dernières sont montées folles sur leurs axes : ces derniers sont portés par le double bras N, qui se déplace lors du renversement de marche. Dans ce déplacement, les roues R_1 et R'_1 restent engrenées entre elles et avec les roues clavetées sur les arbres. Toutefois l'engrenage n'est parfait que dans les deux positions extrêmes de la mise en train; dans les positions intermédiaires, la roue R_1 s'écarte un peu de l'axe de l'arbre moteur.

r Pignon d'angle monté sur le moyeu du volant de manœuvre *m* de la mise en train.

r' Pignon d'angle recevant son mouvement du pignon *r*, et servant d'écrou à la vis *m'*. Le pignon *r'* est pris dans le bâti, au moyen d'une rondelle en deux parties en-

gagée dans une gorge pratiquée sur son moyeu, et maintenue sur le bâti par des vis. Le pignon r' peut par suite tourner librement, mais il ne peut pas se déplacer dans le sens de son axe.

Les tiroirs sont mus par un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur et recevant son mouvement de ce dernier par l'intermédiaire des quatre roues dentées égales R, R_1, R_1' et R'. Dans la position de la figure, la machine fonctionne en avant, et la petite manivelle de chaque tiroir forme avec la manivelle fictive correspondante un angle égal à l'angle de calage. Ici, les tiroirs sont en coquille, et le rayon e est en avance sur la manivelle fictive M'. Si la machine est stoppée dans la position qu'elle occupe sur la figure et qu'on manœuvre le volant de mise en train pour remonter la vis m', il est facile de voir que les divers leviers de transmission feront baisser le bras N. La roue R de l'arbre moteur étant immobile, la roue satellite R_1 tourne dans le sens de la flèche et communique son mouvement à la roue R'_1, qui à son tour fait mouvoir la roue R' de l'arbre des tiroirs. Le mouvement de rotation imprimé à la roue satellite R', est exactement de même sens que celui qu'elle prendrait si la machine continuait son mouvement en avant; par suite, les roues R'_1 et R' tournent dans le même sens que lors de cette marche. La manivelle e du tiroir avance de plus en plus, en augmentant son angle de calage, jusqu'à ce qu'elle soit diamétralement opposée à la manivelle fictive M', puis passe dans l'autre demi-cercle, et finalement, lorsque la mise en train est à bloc, la manivelle e a pris la position e', symétrique de la première par rapport à la manivelle fictive M'. Elle forme par suite avec cette manivelle un angle de calage convenable pour la marche arrière.

Ce mécanisme de renversement de marche opère absolument comme la mise en train *Mazeline*; le déplacement de l'arbre des tiroirs est le même dans les deux cas, et égal à deux fois le supplément de l'angle de calage. Avec la mise en train *Maudslay*, le renversement de marche pourrait être effectué avec facilité sans stopper la machine, non-seulement parce que le volant de manœuvre m est indépendant de l'arbre, mais surtout parce que le mouvement de rotation en avant de la roue R fait tourner la roue R' et tend à la déplacer dans le même sens que l'action exercée par le volant de manœuvre pour renverser la marche. — Cette dernière circonstance exige que la vis de manœuvre m' soit serrée par un frein, afin d'éviter les trépidations qui résulteraient de l'irrégularité du mouvement de l'arbre moteur. L'existence de quatre roues d'engrenage doit occasionner au bout d'un certain temps de marche, et toutes choses égales d'ailleurs, un retard dans le mouvement de l'arbre des tiroirs deux fois plus grand que celui qui se produit avec la mise en train *Mazeline*, par suite de l'usure des dents de la transmission. De plus, ce retard, qui pour la marche arrière est insignifiant avec la mise en train *Mazeline*, est ici très-sensible, parce que les dents des roues satellites s'usent sur les deux faces. On peut remédier, lorsqu'il y a lieu, à la diminution de l'angle de calage en changeant la suspension de la mise en train qui, dans ce cas, ne doit pas être poussée tout à fait aux positions extrêmes de sa course.

Étant donnée la position du coulisseau *g* par rapport au bras N qui porte les roues satellites, la courbure de la glissière G est déterminée par la condition que l'axe de la roue R'_1 se déplace sur un arc de cercle concentrique à l'arbre des tiroirs. D'autre part, le pied du bras N décrit un arc de cercle à l'extrémité du levier *l'*, et ce pied est généralement placé sur le prolongement de la ligne des centres des roues satellites; de plus, cette ligne est verticale dans la position qu'occupe la mise en train pour la marche avant. La position du centre d'oscillation *o'* du levier *l'* doit être déterminée pour que, dans les deux positions extrêmes de la mise en train, les roues soient parfaitement engrenées. L'angle dont se décale l'arbre des tiroirs pendant le renversement de marche, est égal au déplacement angulaire de la roue satellite R_1 autour de l'arbre moteur, augmenté du déplacement angulaire de la roue satellite R'_1 autour de l'arbre des tiroirs. En construisant l'épure de cette mise en train, on reconnaît d'abord que le décalage *possible* de l'arbre des tiroirs est très-restreint et que ce système de renversement de marche n'est applicable que dans le cas de faibles introductions. Par ailleurs, si on trace les diverses positions que peut occuper le bras N pendant le renversement de marche, on reconnaît qu'en faisant suivre un arc de cercle à l'extrémité inférieure de ce bras, il est possible de faire en sorte que, pour les positions extrêmes de la mise en train, les roues satellites soient parfaitement engrenées dans celles des arbres, mais qu'il n'en est pas de même pour les positions intermédiaires. Pour que l'engrenage fût parfait dans toutes les positions de la mise en train, l'extrémité inférieure du bras N devrait suivre une courbe variable avec la distance de cette extrémité à l'axe de la roue R_1; cette courbe peut, à la rigueur, être assimilée à un arc de cercle, mais le rayon de cet arc est excessivement grand; il existe même un point de la ligne des centres des roues satellites qui se déplace pendant longtemps sur une ligne droite. Néanmoins, la mise en train *Maudslay* peut servir, comme nous l'avons dit, à modifier le degré d'introduction en changeant la suspension du bras N qui, dans ce cas, ne doit pas être poussé à l'extrémité de sa course; il en résulte une augmentation de l'angle de calage et, par suite, de la détente. Mais, eu égard à ce que nous venons d'expliquer, les changements possibles d'introduction sont très-limités si on veut que les roues dentées soient toujours suffisamment en prise.

N° 34$_6$ Mises en marche à vapeur. — Les difficultés que l'on éprouve pour déplacer à la main les tiroirs des machines puissantes, ont fait songer depuis longtemps à employer des appareils à vapeur, soit pour manœuvrer directement les distributeurs, soit pour changer la suspension des secteurs qui les conduisent. Un des premiers appareils de ce genre fut appliqué sur les machines à cylindres oscillants de la frégate à roues le *Mogador*; il consistait en un cylindre à vapeur dont le piston actionnait directement la tige de l'arc de Penn. Cette mise en marche était munie d'un frein formé

d'un cylindre rempli d'huile et dont les extrémités étaient mises en communication par un canal étroit creusé dans sa paroi ; dans ce cylindre se mouvait un piston monté sur le prolongement de la tige du piston à vapeur, et qui était obligé de refouler l'huile d'un bout du cylindre dans l'autre à travers le canal précité ; la résistance opposée par l'huile à son transvasement formait frein. Mais cette mise en marche, dont le fonctionnement était d'ailleurs rendu difficile par la nécessité de faire parcourir aux tiroirs des machines plusieurs courses successives avant d'enclancher la bielle d'excentrique, ne donna pas de bons resultats pratiques et fut bientôt abandonnée.

Aujourd'hui que les tiroirs sont en grande partie conduits par des secteurs, l'application d'une mise en marche à vapeur présente moins de difficultés puisqu'il n'y a qu'une seule course à produire ; néanmoins le système à action directe n'a plus été repris. Avec un secteur, les appareils actuellement en usage comportent généralement une disposition mécanique qu'il faut actionner à la main pour que la vapeur puisse agir efficacement, ce qui donne la certitude de stopper la mise en marche à tel point de sa course que l'on désire. Ces appareils sont d'ailleurs munis de systèmes articulés au moyen desquels l'introduction de vapeur se ferme automatiquement quand la course est sur le point d'être terminée. Ajoutons que les dispositions mécaniques dont il vient d'être question permettent de manœuvrer les tiroirs à bras lorsqu'on n'a pas de vapeur à sa disposition, condition indispensable tant au point de vue de l'entretien de la machine qu'à celui des réparations qu'on peut avoir à effectuer. On a imaginé un grand nombre d'appareils de mise en mache à vapeur, et, tout dernièrement, l'usine d'*Indret* a même construit des appareils spéciaux applicables aux mises en train *Mazeline.* Nous allons donner la description des principaux types de ces mises en marche.

Mise en marche à vapeur de Maudslay.— La mise en marche à vapeur que *Maudslay* a appliquée sur les machines Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout, des paquebots *Amérique* et *France* (*fig.* 1, *pl.* V) est représentée en détail par la *fig.* 14 de la *pl.* V ; en voici la légende :

Fig. 14, Pl. V.

A Cylindre moteur de l'appareil de mise en marche. Ce cylindre est placé horizontalement sur le condenseur, avec lequel il est fixé.

B Piston ordinaire muni d'une très-grosse tige *b*, qui est creuse sur une grande partie

de sa longueur. Cette tige est taraudée intérieurement pour recevoir une vis à filets carrés qui fait partie de l'arbre de manœuvre C.

B_1 Traverse de piston fixée sur la tige b au moyen de la clavette 2. Cette traverse est conduite en ligne droite par les guides cylindriques b_1, b_1 fixés d'une part sur des oreilles du cylindre, et d'autre part sur une pièce fixe D que traverse à frottement doux la tige du piston. La traverse B_1 porte extérieurement deux tourillons sur lesquels s'articulent les bielles E de suspension des secteurs.

B′ Deuxième traverse fixée à l'extrémité de la tige de piston b et maintenue en ligne droite par les guides cylindriques d, d, fixés d'une part à la pièce fixe D, et d'autre part à une deuxième pièce fixe C′. Cette deuxième traverse a pour but de maintenir toujours en ligne droite l'axe de la tige b du piston et celui de l'arbre C.

C Arbre de manœuvre de la mise en train. Cet arbre porte un volant c au moyen duquel on le fait tourner; il est emprisonné par deux collets dans la pièce C′, qui lui sert de palier en même temps que de butée, de sorte que cet arbre peut tourner, mais non avancer dans le sens de son axe. L'arbre C est taraudé, avec filet carré, sur une longueur un peu supérieure à la course du piston, et s'engage dans la partie filetée du bout de la tige b de ce piston. En faisant tourner l'arbre C au moyen de son volant, la tige b et le piston B avancent ou reculent suivant le sens du mouvement de rotation de l'arbre C.

E Bielles de suspension des secteurs. Ces bielles sont articulées aux extrémités de la traverse B_1 : elles sont à fourche; chacune d'elles embrasse un secteur et vient s'articuler extérieurement au milieu de sa longueur. Les secteurs S sont formés chacun de deux arcs parallèles engagés dans des rainures pratiquées sur un coussinet à rotule monté à l'extrémité de la tige de tiroir.

H Boîte à tiroir du cylindre moteur de la mise en train.

I Tiroir de distribution en coquille simple. La vapeur arrive dans la boîte à tiroir par le tuyau 1, et l'évacuation se fait au condenseur par un petit conduit latéral qui ne figure pas sur le dessin.

i Tige de tiroir guidée en ligne droite par le presse-étoupe de la boîte à tiroir et par la douille 3′, montée sur la pièce fixe D.

k, l Mécanisme de manœuvre à la main du tiroir. L'axe d'oscillation du levier l est monté sur la pièce fixe C′, et ce levier est relié à la tige du tiroir par la bielle k. Le levier l, occupe sur la figure la position qui place le tiroir au point mort bas.

m, n, p, q, q' Mécanisme pour effectuer automatiquement la fermeture des orifices du cylindre, et placer le tiroir à mi-course, au moment où la mise en train arrive à bloc. La tringle n parallèle au guide b_1, est maintenue en ligne droite par la douille 3 et le butoir p, qu'elle traverse à frottement doux. Cette tringle est reliée à la tige du tiroir par le levier m. Elle porte deux taquets q, q', de position variable, mais qu'on rend fixes au moyen de vis de pression. Dans les changements de suspension des secteurs, le butoir p, qui fait corps avec la traverse du piston, rencontre le taquet q ou le taquet q', suivant le sens de sa marche, et l'entraîne en opérant la fermeture des orifices du cylindre.

Sur la *fig.* 14, le tiroir ouvre l'orifice du haut à l'introduction et celui du bas à l'évacuation; la vapeur tend par suite à faire descendre le piston. Mais le mouvement n'a lieu que si on agit sur le volant c pour faire tourner l'arbre C, de droite à gauche pour dévisser. La résistance du taraudage est suffisante pour que la vapeur ne puisse agir toute seule; mais un seul homme suffit pour faire tourner le volant c. — Pendant le changement de suspension des secteurs, le butoir p se rapproche de plus en plus du taquet q; la rencontre a lieu quelques instants avant que la mise en train soit à bloc. Pendant les derniers instants de la course, le taquet q est entraîné; le levier m donne un mouvement de sens contraire au tiroir; celui-ci ferme les orifices et les ouvre bientôt en sens contraire. L'homme qui agit sur le volant éprouve alors une résistance assez grande qui lui

indique que la mise en train est à bloc. Il replace alors le levier *l* à mi-course et ferme le robinet obturateur du tuyau 1 de prise de vapeur.

Le volant *c* et l'arbre C peuvent servir à manœuvrer les secteurs à froid, mais il faut alors que plusieurs hommes agissent sur le volant. On a d'ailleurs la précaution d'ouvrir les robinets de purge du cylindre, ou bien de placer le tiroir comme si la vapeur devait agir, pour ne pas comprimer l'air dans le cylindre, ce qui augmenterait considérablement la résistance.

Mise en marche à vapeur du Creusot. — La mise en marche à vapeur du *Creusot*, telle qu'elle a été installée sur le paquebot transatlantique le *Saint-Laurent*, est représentée par la *fig.* 15, *pl.* V. En voici la légende :

Fig. 15, Pl. V.

A Cylindre à vapeur de l'appareil. Ce cylindre est horizontal; il est fixé en dessous et entre les deux cylindres de la machine, cette dernière étant du système Woolf à pilon. Le couvercle *a* porte trois boîtes à étoupe dont les axes sont placés sur un même diamètre horizontal; le fourreau a'_1, venu de fonte avec le fond *a'* du cylindre, traverse ce cylindre et passe dans la boîte à étoupe centrale du couvercle *a*; les deux autres boîtes à étoupes sont celles des tiges de piston. Le fond *a'* du cylindre porte une boîte de butée C'.

B Piston annulaire muni de deux garnitures, l'une extérieure fait joint contre la paroi du cylindre, l'autre intérieure embrasse le fourreau a'_1. Ce piston est muni de deux tiges *b*, *b*.

B_1 Traverse de piston sur laquelle se fixent les tiges *b*, *b*. Cette traverse est maintenue horizontale par les guides cylindriques b_1, b_1, enfilés dans des douilles qu'elle porte à ses extrémités; ces guides sont fixés sur le couvercle *a* du cylindre et sur les bâtis à console 1. Sur le milieu de la traverse B_1 se trouve une forte douille formant écrou sur l'extrémité filetée de l'arbre C.

C Arbre de manœuvre de la mise en marche. Cet arbre traverse le cylindre en passant dans l'intérieur du fourreau a'_1; son extrémité avant, qui porte un quadruple filet rectangulaire sur une longueur égale à la course du piston, s'engage dans la douille centrale de la traverse B_1; sur l'extrémité arrière de cet arbre est monté le volant *c*, au moyen duquel on le fait tourner.

C' Boîte de butée qui empêche l'arbre C de se déplacer dans le sens de son axe, tout en lui permettant de tourner librement. La butée est formée par le coussinet à collets 2, qui est en bronze et en deux parties; ce coussinet est emprisonné dans la boîte C' par la rondelle en fer 3 boulonnée sur cette boîte. La vis *c'* serre le coussinet 2 contre l'arbre pour faire frein et l'empêcher de tourner quand la mise en marche est à bloc.

D, D' Bielles et leviers par l'intermédiaire desquels la traverse du piston actionne l'arbre O de relevage des secteurs. Il existe deux leviers D', ainsi que deux bielles D; ces dernières s'articulent sur la traverse B_1, à côté et en dehors des tiges de piston *b*, *b*.

D_1, D'_1 Bielles et leviers de suspension des secteurs. Il existe pour chaque secteur un levier D'_1 et deux bielles D_1; les secteurs S sont formés de deux arcs parallèles qui embrassent un coussinet à rotule porté par l'extrémité de la tige Q des tiroirs, et les bielles D_1 s'articulent à l'extérieur de ces arcs. Les bielles d'excentrique *e* sont à fourche et s'articulent également à l'extérieur des secteurs.

H Boîte à tiroir recevant la vapeur de la chaudière par le tuyau 4; l'évacuation se fait par le tuyau 4'.

I Tiroir de distribution, en coquille ordinaire avec recouvrements à l'introduction et à l'évacuation.

i Tige de tiroir formant en son milieu un cadre rectangulaire qui embrasse le distributeur. Cette tige se prolonge des deux côtés pour se relier au mécanisme de manœuvre à la main et au mécanisme d'arrêt de la mise en marche.

g, *h*, *k*, *l* Bielles et leviers de manœuvre à la main du tiroir. L'index i_1 indique sur un cadran gradué le degré d'ouverture des orifices et la position du tiroir à mi-course.

m, *x*, *p*, *q*, *q'* Mécanisme d'arrêt de la mise en marche. La tringle *n*, maintenue en ligne

droite par les douilles 5 et 6, se meut au-dessous du guide b_1 et parallèlement à ce guide; sur cette tringle sont emmanchés, à frottement doux, le butoir p taraudé dans l'extrémité de la traverse B_1, et les deux taquets mobiles q, q'; ces taquets sont rendus fixes au moyen de vis de pression, et leur position est déterminée par la condition qu'ils soient en contact avec le butoir p lorsque la mise en marche est à bloc, le tiroir de son cylindre à mi-course.

Sur la *fig.* 15, la mise en marche est dans la position qui lui convient pour la rotation en avant, et le piston de son cylindre est au point mort haut. Pour changer le sens de la rotation et placer les secteurs dans la position de la marche arrière, il faut faire descendre le piston et l'amener au point mort bas. A cet effet, on desserre le frein c' et on manœuvre le tiroir à la main au moyen du levier l, de manière à démasquer l'orifice du haut à l'introduction et celui du bas à l'évacuation. La vapeur agit immédiatement sur le piston pour le faire descendre, et si l'on tourne alors le volant c à droite, l'arbre C se visse dans la douille de la traverse du piston et celle-ci opère le changement de suspension des secteurs. — Un seul homme suffit pour faire tourner le volant c, car l'action de la vapeur agit déjà sur l'arbre C par l'intermédiaire de la traverse et tend à faire tourner cet arbre; mais le frottement de la vis est généralement assez grand, malgré le quadruple filet, pour empêcher le mouvement de se produire sous l'impulsion de la vapeur seule. Il est bon d'ailleurs qu'il en soit ainsi pour que le piston ne prenne pas une accélération trop grande. — Quelques instants avant que la mise en marche soit à bloc, le butoir p rencontre le taquet q et l'entraîne dans le mouvement de la traverse du piston, ce qui fait fermer peu à peu les orifices du cylindre. On tourne alors plus lentement le volant c, et le piston s'arrête si on cesse d'agir sur ce volant lorsque l'index i_1 indique que le tiroir est à mi-course. — La manœuvre inverse doit être faite pour passer de la marche arrière à la marche avant, et c'est alors le taquet q' qui ramène le tiroir à mi-course lorsqu'il est rencontré par le butoir p.

Le mécanisme de mise en marche qui nous occupe permet de manœuvrer les secteurs à bras lorsqu'on n'a pas de la vapeur à sa disposition; mais il faut alors que plusieurs hommes agissent sur le volant c pour obtenir la force nécessaire. Comme le piston du cylindre moteur est entraîné dans le mouvement, il convient, pour diminuer la résistance et empêcher l'air d'être comprimé dans le cylindre, de manœuvrer le tiroir I comme si la vapeur devait agir; on ouvre, en même temps, les robinets graisseurs et les robinets purgeurs du cylindre.

Mise en marche à vapeur de Farcot-Duclos. — La mise en marche à vapeur imaginée par M. *Émile Duclos* et appliquée sur plusieurs paquebots des *Messageries maritimes*, est une variante du servo-moteur *Farcot*. La disposition de cette mise en marche est représentée par la *fig.* 16, *pl.* V, dont voici la légende :

A Cylindre à vapeur fixé au bâti de la machine. Ce cylindre est fermé par deux couvercles démontables : l'un a est muni de deux boîtes à étoupe; l'autre a' en a trois; ces boîtes à étoupe sont destinées au passage d'autant de fourreaux portés par le piston. Fig. 16, Pl. V.

B Piston à vapeur, d'une grande épaisseur à cause du tiroir qui est logé dans son intérieur, et portant deux garnitures métalliques formées chacune d'une seule bague, comme l'indique la vue 3°. — Deux fourreaux b,b' venus de fonte avec le piston, lui servent de tige et de contre-tige; le vide intérieur de ces fourreaux est prolongé à travers le piston pour laisser le passage libre à l'arbre C. — Les fourreaux h,h_1,h'_1, sont de simples tubes de fer taraudés sur le piston; le premier est destiné au passage de la tige du tiroir, le second sert de conduit d'arrivée de vapeur dans la boîte à tiroir et le troisième sert de conduit d'évacuation.

B_1 Traverse du piston, vissée à l'extrémité du fourreau b; elle porte deux tourillons sur lesquels sont montées les bielles e qui la relient au collier E.

C Arbre de manœuvre de la mise en marche. Cet arbre passe dans l'intérieur des fourreaux b,b', et s'appuie sur des bagues en bronze que ces fourreaux portent à leur extrémité. Il est muni d'un volant c qui sert à le faire tourner, et d'une butée qui l'empêche de se déplacer dans le sens de son axe. La butée est formée par un encastrement pratiqué dans une pièce fixe C', et au fond duquel se trouve un grain de butée 1; une embase de l'arbre C, emprisonnée par la rondelle en fer 2, fortement boulonnée sur la pièce fixe C', sert de butée pour le sens contraire. — L'arbre C porte une partie filetée sur laquelle est monté un manchon en bronze D.

D Manchon d'entraînement du tiroir lors de la manœuvre à la vapeur, et manchon d'entraînement des leviers de changement de suspension des secteurs lors de la manœuvre à froid. Le manchon D est en bronze et forme écrou sur la partie filetée de l'arbre C; il porte deux collets d,d' entre lesquelles est emprisonné le collier en fer E. Entre les deux collets, la section du manchon D, normalement à l'axe, est carrée à angles arrondis.

E Collier en fer, en deux parties, monté à frottement doux sur le manchon rectangulaire D. Ce collier porte seulement deux tourillons dont les axes sont horizontaux et dans le prolongement l'un de l'autre; ces tourillons reçoivent des coussinets qui glissent dans des mortaises rectangulaires du levier à fourche G, entre le collier E et les bielles e qui relient ce collier à la traverse du piston. — Entre les faces du collier E et les collerettes d,d' du manchon D, existe un jeu total de 16 millimètres nécessaire à la manœuvre du tiroir I, dont la tige i est conduite par le manchon D.

F Butée à ressort contre laquelle vient appuyer le manchon D à fin de course, et qui fait résistance à la manœuvre pour indiquer que la mise en marche est à bloc. L'écrou de butée 3 est en acier, il est en deux parties et porte trois collets qui s'engagent dans autant de rainures circulaires de l'arbre C; cet écrou est emprisonné dans une gorge pratiquée dans le fond de la boîte F, par un bouchon en bronze 4, avec une rondelle de fer intermédiaire pour éviter le mattage du bronze. Des vis taraudées dans l'épaisseur de la boîte F et dont les extrémités sont noyées dans une rainure circulaire de l'arbre C, un peu en avant des collets de butée, complètent la liaison de l'arbre et de cette butée. — Le ressort en hélice f enroulé sur l'arbre C, porte sur le fond de la boîte F et sur une rondelle en fer qui appuie contre un manchon en bronze d_1, emprisonné dans la boîte F et maintenu par l'écrou 4'.

G Levier actionnant l'arbre O de relevage des secteurs. Ce levier est à fourche et ses deux branches portent des entailles rectangulaires pour recevoir des coussinets d'une seule pièce, montés sur les tourillons du collier E. Une traverse g en fer, maintenue par des vis, relie, à la partie inférieure, les quatre branches que forme le levier à fourche G.

H Boîte à tiroir, ménagée dans l'intérieur même du piston, ainsi que le montre clairement la vue 3°; le fourreau h_1 lui sert de conduit d'arrivée de vapeur. — Les orifices sont creusés dans l'épaisseur du piston et l'évacuation se fait par la cavité 7, avec laquelle communique l'intérieur du fourreau h'_1.

H_1,H'_1 Pipette d'arrivée de vapeur et pipette d'évacuation. Ces pipettes, en cuivre rouge, enveloppent complétement les fourreaux h_1 et h'_1; elles sont brasées sur les chapeaux de presse-étoupe de ces fourreaux. La vapeur arrive dans la pipette H_1 par le tuyau 6, et sort de la pipette H'_1 par le tuyau 8.

I Tiroir en coquille sans recouvrements à l'introduction comme à l'évacuation. Les orifices ont une hauteur de 8 millimètres, et la course du tiroir est juste égale au double de la hauteur d'un orifice.

i Tige de tiroir portant un cadre qui embrasse une partie rectangulaire ménagée sur le

dos du distributeur. Cette tige passe à l'intérieur du fourreau *h* et traverse une boîte à étoupe 9, taraudée à l'extrémité de ce fourreau.

J Traverse en fer montée sur le manchon en bronze D et qui conduit le tiroir. La tige *i* est reliée à la traverse J par la prolonge *i'*; cette dernière passe librement dans un œil de la traverse *j*, pour être fixée au moyen d'écrous et de contre-écrous qui servent à régler la suspension du tiroir. Cette suspension est bien lorsque le tiroir étant à mi-course, le collier E laisse 8 millimètres de jeu de chaque côté, entre lui et les colleretes *d* et *d'* du manchon D.

Sur la *fig.* 16, la mise en marche est à fin de course, le piston du cylindre moteur au point mort bas. Pour changer la suspension des secteurs et renverser la marche, il faut faire tourner le volant *c* à gauche. Le manchon D monte, entraînant le tiroir qui se trouve déplacé de 8 millimètres au moment où la collerette *d* vient en contact avec le collier E; les orifices sont ouverts en grand, celui du bas pour l'introduction et celui du haut pour l'évacuation. La vapeur agissant efficacement sur le piston, celui-ci se met en marche et agit à son tour sur le collier E, par l'intermédiaire de la traverse B_1 et des bielles *e*; de son côté, le collier E actionne l'arbre de relevage des secteurs par l'intermédiaire du levier à fourche G. — Tant qu'on fait tourner le volant *c* pour maintenir la collerette *d* en contact avec le collier E à mesure que celui-ci avance, le tiroir se déplace en même temps que le piston et l'ouverture des orifices ne change pas. Mais si on arrête le mouvement du volant *c*, le manchon D devient immobile, et il en est de même du tiroir; le piston continuant d'avancer ferme peu à peu les orifices, et lorsque le collier E, qui a suivi le mouvement du piston, est venu se placer à égale distance des collerettes *d* et *d'*, le tiroir est à mi-course, recouvrant juste ses orifices. A ce moment, la mise en train s'arrête, car le moindre mouvement en avant du piston fait démasquer l'orifice du haut pour l'évacuation. — Si on continue d'agir sur le volant *c*, le piston achève sa course en changeant complétement la suspension des secteurs. La mise en marche est à bloc lorsque le manchon D vient en contact avec la rondelle 2; on desserre alors un peu le volant, que l'on maintient ensuite immobile, et le piston s'arrête après avoir encore fait un chemin égal à 8 millimètres, qui place le tiroir à mi-course.

Dans la manœuvre inverse de celle dont il vient d'être question, le volant *c* tourne à droite; le manchon D marche seul jusqu'à ce que la collerette *d'* étant venue en contact avec le collier E, le tiroir se trouve déplacé de 8 millimètres, ouvrant en grand ses orifices, celui du haut pour l'introduction et celui du bas pour l'évacuation. Le piston se met en marche, entraînant le levier G qui actionne l'arbre de relevage des secteurs, et le mouvement se continue tant qu'on agit sur le volant *c*, pour maintenir la collerette *d'* en contact avec le collier E. Lorsque le manchon D butte contre le manchon d_1, le ressort *f* est comprimé, et on sent sur le volant *c*, une résistance beaucoup plus grande qui indique que la mise en train est rendue. On cesse alors d'agir sur ce volant, le manchon D devient immobile, et il en est de même du tiroir; le piston avance encore de 8 millimètres, ce qui place le tiroir à mi-course, et l'appareil de mise en marche est stoppé.

Le mécanisme de mise en marche dont il vient d'être question est d'une manœuvre sûre et facile. — Le piston moteur n'avance qu'autant qu'on agit sur le volant *c* et ne peut se déplacer de plus de 8 millimètres dès que ce volant devient immobile. — Un seul homme suffit pour la manœuvre du volant *c*, car les résistances à vaincre proviennent uniquement des frottements de l'arbre sur ses portées, auxquelles il faut ajouter, aux premiers instants de la manœuvre, la résistance du tiroir et le frottement du collier E sur le manchon D. — Le changement de suspension des secteurs peut être effectué à la main, quand on n'a pas de vapeur à sa disposition; mais il faut alors que plusieurs hommes agissent sur le volant *c*. Le mouvement de rotation imprimé à l'arbre C par le volant *c*, oblige le manchon D à avancer ou à reculer, suivant le sens de ce mouvement, puisque l'arbre C ne peut se déplacer le long de son axe. Au premier instant, le manchon D marche seul; mais lorsque sa collerette est venue en contact avec le collier E, celui-ci est entraîné, et il en est de même du levier G qui actionne l'arbre de relevage des secteurs. — Le piston B est aussi entraîné dans le mouvement général du système; mais à cause du contact de la collerette du manchon D avec le collier E, les orifices du tiroir sont ouverts comme si la vapeur devait agir; l'air n'est donc pas comprimé dans le cylindre. On a d'ailleurs toujours la précaution d'ouvrir les robinets de purge.

L'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée* a appliqué sur les quatre machines du *Tourville* (n° 31_2) des servo-moteurs genre *Duclos*, au moyen desquels on change la suspension des tiroirs. Ils présentent, par rapport au type précédent, les différences suivantes : l'arbre qui traverse le cylindre du servo-moteur est tenu dans un palier au moyen de 5 collets de butée; il est supporté, de l'autre côté du cylindre, par un palier à coussinets lisses, qui est muni d'un frein à vis. Cet arbre se manœuvre au moyen d'un volant et par l'intermédiaire d'un engrenage conique. Les volants de manœuvre des servo-moteurs qui correspondent au même groupe de machines, sont montés sur le même axe. Toutes les pièces étant symétriques par rapport au plan vertical parallèle aux axes des cylindres moteurs qui passe par le milieu de chaque groupe de machines, les pas du filetage des axes des servo-moteurs correspondants sont de sens contraires.

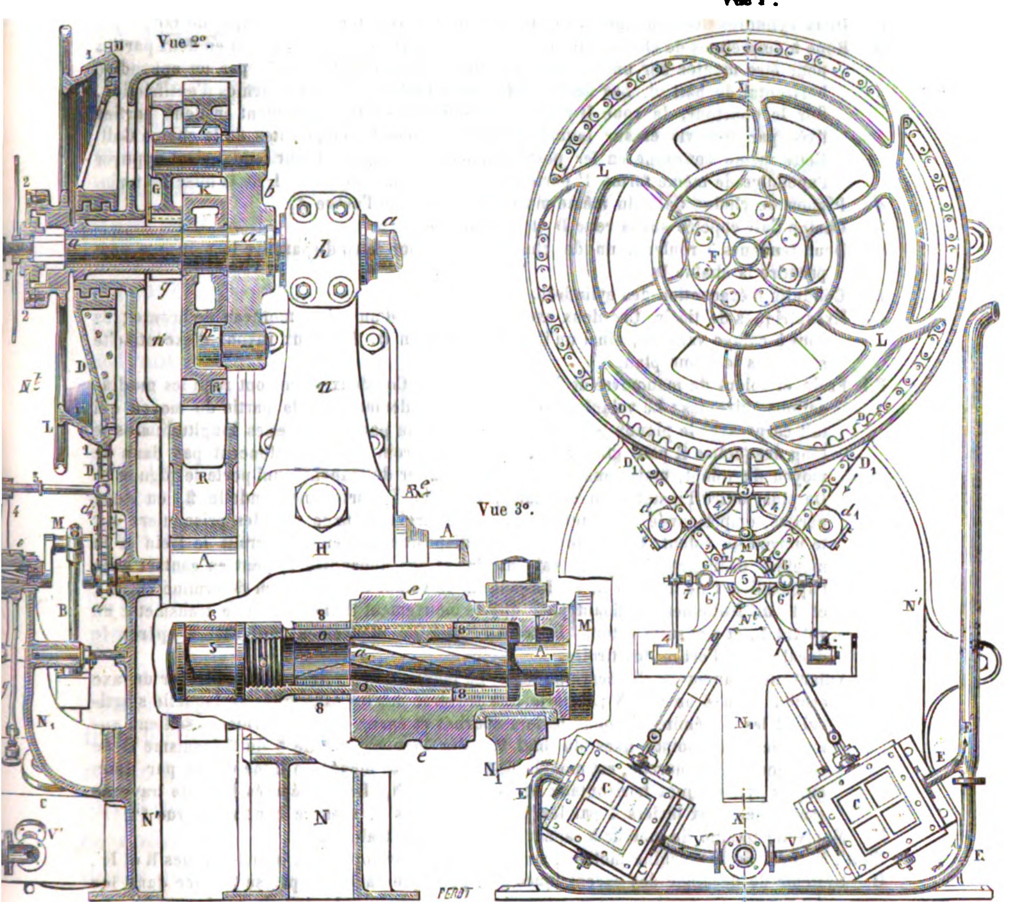
Mise en marche à vapeur d'Indret pour une mise en train Mazeline. — L'usine d'*Indret* a produit deux types de mise en marche à vapeur applicables à la mise en train *Mazeline*. Le premier est représenté par la *fig.* 6, dont voici la légende :

Première partie relative au mécanisme de la mise en train Mazeline.

A	Arbre moteur de la machine, partie avant.
a	Arbre des tiroirs.
b	Bras de la mise en train Mazeline, claveté sur l'arbre des tiroirs.
F	Frein de la mise en train (n° 34_4).
L	Volant de manœuvre à la main de la mise en train.
G	Roue satellite dont l'axe est porté par le bras *b*.

Fig. 6. — *Mise en marche à vapeur d'Indret pour mise en train Mazeline* : 1er type, — Échelle 1/30.

Vue 1°. Élévation de face.
Vue 2°. Coupe suivant XX vue 1°.
Vue. 3°. Coupe à grande échelle de l'arbre O du moteur de mise en marche.



g Pignon monté sur le moyeu du volant L et actionnant la roue satellite G.
K Secteur denté de la roue R'.
k Pignon faisant corps avec la roue satellite G et engrenant avec le secteur denté K.
p Toc de la mise en train, pouvant se mouvoir dans une gorge circulaire pratiquée sur la roue R'. On sait que le déplacement angulaire total du toc est double du supplément de l'angle de calage.
R,R' Roues de transmission du mouvement de l'arbre moteur A à l'arbre *a* des tiroirs. La roue R est clavetée sur l'arbre A; la roue R' est folle sur l'arbre *a*.
H,*h* Paliers pour l'abre de couche et l'arbre des tiroirs.
N,*n* Bâtis des paliers H et *h*.

Deuxieme partie relative au moteur à vapeur de la mise en train.

A_1 Arbre moteur, monté sur deux paliers formés : l'un par le bâti N'; l'autre par le bâti N_1 fixé sur le premier. Cet arbre porte un vilebrequin unique M.

B Grande bielle du cylindre tribord; celle du cylindre bâbord a été enlevée. Les deux bielles s'articulent sur le tourillon du vilebrequin M.

C Deux cylindres fixes, inclinés à droite, et dont les axes forment un angle de 60°.

D Roue à empreintes de chaîne Gall. Cette roue a le corps en fonte; elle est en deux parties pour être montée sur une espèce de butée à deux collets formée par un appendice horizontal du bâti n'. Les surfaces de contact des collets sont garnies d'antifriction. Sur le pourtour, la roue D reçoit une couronne en fer, également en deux parties fixée par des vis et sur laquelle sont découpées les empreintes de la chaîne Gall. Cette même couronne en fer porte l'appendice conique 1 sur lequel vient appuyer l'apendice de même forme 1' porté par le volant de manœuvre L de la mise en train.

d Pignon de chaîne Gall, du même morceau de fer que l'arbre A_1.

D_1 Chaîne Gall capelée sur la roue D et le pignon d.

d_1 Deux tendeurs à rouleau, un de chaque bord, pour faire disparaître le mou que peut prendre la chaîne D_1.

E,E' Conduits d'évacuation des cylindres.

e,e Excentriques de tiroir. Ces deux excentriques sont d'un même morceau de bronze; ils sont à calage variable, ainsi qu'il est expliqué en O. Les deux rayons d'excentricité sont dans le même plan.

F,L Frein et volant de manœuvre de la mise en train. Ces deux pièces ont reçu les modifications suivantes : Le volant L n'est pas fixé à demeure sur la partie du moyeu qui fait corps avec le pignon g ; il est seulement tenu par des clavettes longitudinales le long desquelles il peut glisser. Les griffes du frein F ne s'enfoncent pas dans le moyeu du volant, mais dans un renflement en fer du manchon qui porte le pignon g. De plus, outre l'installation ordinaire, le frein F porte une rondelle 2, en deux parties, emprisonnée dans une gorge, sur le frein, et fixée par des prisonniers sur le moyeu du volant. Il résulte de cette disposition qu'en desserrant le frein à la manière ordinaire, le volant est entraîné et son appendice 1' vient en contact avec l'appendice 1 de la roue D. En forçant sur le volant du frein F, on détermine entre 1 et 1' un frottement suffisant pour que le mouvement de la roue D se transmette au volant L, et par suite à toute la transmission de mouvement qui sert à opérer le décalage de l'arbre des tiroirs.

l Volant de manœuvre du servo-moteur. Le moyeu de ce volant se taraude sur un axe oscillant 3 fixé au bâti N'; il porte une traverse sur les extrémités de laquelle s'articulent les extrémités de deux leviers courbes et égaux 4; ces derniers oscillent autour de deux points fixes du bâti N_1. Sur la pièce mobile 5 du mécanisme O de changement de marche, est montée une traverse 6, menée en ligne droite par deux guides cylindriques horizontaux et fixés au bâti N_1. Les extrémités de cette traverse sont reliées aux leviers 4 par les petites menottes 7, vues de bout sur la vue 1°.

M Manivelle unique du moteur à vapeur de la mise en train.

N', n', N_1 Bâti de la machine motrice, servant aussi d'enveloppe aux grandes roues R et R'.

O Système de décalage des excentriques e,e, pour que l'arbre A_1 puisse tourner dans les deux sens. Ce système est représenté en coupe à grande échelle sur la vue 3°. Le massif des excentriques e,e est engagé dans les coussinets du palier porté par le bâti N_1. Le bout de l'arbre A_1 pénètre dans ce massif, et son extrémité a_1, sur laquelle sont creusées des rainures hélicoïdales, s'engage dans un écrou en fer O, qui, à son tour, pénètre dans le massif des excentriques e,e, dans lequel il est guidé par des rainures longitudinales et rectilignes 8. L'écrou o est fixé sur le tourillon en fer 5, au moyen d'un taraudage et d'une goupille. Ce tourillon est emprisonné dans la traverse 6, qui le fait avancer ou reculer, et dans laquelle il peut tourner.

Dans la position de la vue 2°, le mécanisme de changement de marche du moteur et de la mise en train est à demi-course ; l'angle de calage vaut 180°. En agissant sur le volant l pour le faire avancer contre la machine, c'est-à-dire vers l'arrière du bâtiment, la traverse 6 pousse le tourillon 5 et par suite l'écrou o. Ce dernier avance sur

le bout a_1 de l'arbre, en tournant de gauche à droite, et fait par suite déplacer les excentriques dont les rayons, qui étaient d'abord sur la verticale en bas, vue 2°, passent sur la gauche par rapport à cette figure, et viennent former avec la manivelle M un angle de calage convenable ; l'arbre tourne de droite à gauche. Dès lors, la machine motrice se met en marche. — Si le volant l est déplacé en sens contraire, c'est-à-dire sur l'avant, l'écrou o tourne de droite à gauche sur l'extrémité a_1 de l'arbre, et les excentriques passent sur la droite de la verticale, pour la vue 1°, et viennent former avec la manivelle M un angle de calage convenable pour la rotation de gauche à droite.

V,V' Tuyaux de vapeur. Il n'existe pas de valve.

Dans la position de la mise en train, le frein est desserré, mais le volant L n'est pas encore embrayé avec la roue D. D'autre part, le mécanisme O étant à demi-course, l'angle de calage des excentriques vaut 180°, et la petite machine motrice reste immobile. La mise en train peut être manœuvrée à la main au moyen du volant L, qui, en ce moment, est indépendant du moteur. Pour faire agir ce dernier, il faut encore desserrer le frein F, pour appuyer l'un contre l'autre les appendices coniques 1 et 1' de la roue D et du volant L ; puis, suivant que l'on veut porter la mise en train sur la marche avant ou sur la marche arrière, il faut faire tourner le volant l pour qu'il marche vers l'avant ou vers l'arrière du bâtiment. Quand il est à bloc la machine part, parce que l'angle de calage des excentriques est convenable. Le mouvement se transmet de l'arbre A_1 à la roue D par l'intermédiaire du pignon d et de la chaîne Gall D_1 ; et de la roue D au volant L par l'adhérence des appendices 1 et 1'. Du volant L, le mouvement est transmis à l'arbre a, comme si ce volant L était manœuvré à la main.

En raison du faible diamètre du pignon d par rapport à celui de la roue D, il n'y a pas à craindre que la mise en train arrive à bloc avec un très-fort choc. Dès que le contact a lieu, il y a glissement de la couronne 1 sur la couronne 1'. La machine est alors stoppée en ramenant le volant l à mi-course, puis on serre le frein F, qui dégage le volant L, et enfin coince la transmission de mouvement pour qu'il ne se produise aucun décalage. Le seul inconvénient que présente ce système de manœuvre, consiste en ce que l'on n'est pas certain du serrage effectué par la vis du frein sur les couronnes 1 et 1' ; il peut en résulter un frottement trop fort, et par suite l'arrêt brusque de la machine quand la mise en train arrive à bloc.

Le deuxième type de la mise en marche à vapeur appliqué par l'usine d'*Indret* avec mise en train *Mazeline*, diffère essentiellement du précédent. Ce mécanisme est représenté par la *fig*. 7, dont voici la légende :

Première partie relative à la mise en train Masoline.

A Arbre de couche de la machine.
a Arbre des tiroirs.
b Bras claveté sur l'arbre des tiroirs et dont une des extrémités porte le toc p. Ce bras est simple ; il est monté sur l'arbre a comme une manivelle. La partie K opposée au toc est taillée pour engrener avec la vis sans fin k.
F Frein à griffes de la mise en train.
G Roue droite faisant corps avec le manchon sur lequel est monté le volant de manœuvre à la main L.
g Pignon droit engrenant avec la roue G, et dont l'axe est porté par la roue R'.
H Grand palier de l'arbre moteur.
h Palier de l'arbre des tiroirs.
I, I' Deux pignons d'angle égaux, dont les axes sont à angle droit ; ces axes sont portés par la grande roue R'. Le pignon droit g est monté sur l'axe du pignon d'angle I.
i Index monté sur l'arbre des tiroirs et indiquant sur les flèches voisines, le sens du décalage de cet arbre, suivant la marche que l'on veut produire.
K Secteur denté à dents hélicoïdes, faisant partie du bras b.
k Vis sans fin faisant partie du pignon d'angle I', et actionnant le bras b par l'intermédiaire du secteur K.
L Volant de manœuvre de la mise en train. Ce volant est en bronze ; il est monté par un clavetage sur un manchon en fer qui fait corps avec la roue G.
N Bâti entourant la grande roue R.
n Masque entourant la grande roue R'.
p Toc de la mise en train.
R, R' Roues dentées de la transmission de mouvement de l'arbre moteur A à l'arbre a des tiroirs.

En agissant sur le volant L, on fait tourner la roue G ; celle-ci actionne le pignon g, claveté sur l'axe du pignon d'angle I ; ce dernier fait tourner le pignon I' et par suite la vis k ; enfin la vis k actionnant le secteur denté K, le bras b se déplace en décalant l'arbre des tiroirs.

Deuxième partie relative au moteur à vapeur de la mise en train.

A_1 Arbre de la petite machine.
C Deux cylindres oscillants dont les tourillons extérieurs servent de distributeurs, ainsi que l'indique la coupe en déchirure vue 1°, sur un des cylindres, et la partie correspondante pointillée sur l'autre.
E Conduit d'évacuation commun aux deux cylindres.
E' Tuyau d'évacuation prolongeant le conduit E.
L Volant de manœuvre de la mise en train. L'anneau de ce volant est muni, sur chacune de ses faces, de couronnes circulaires coniques en bois, contre lesquelles viennent appuyer les cônes de frottement r et r'.
l Volant de manœuvre du tiroir v_1, qui sert à mettre en marche le moteur. La transmission de mouvement se fait au moyen de la tige taraudée 1 du levier 2 et des menottes 3. Le moyeu du volant l est emprisonné dans le montant 4, et le mouvement de rotation de ce volant fait monter ou descendre la tige 1.
m Levier de manœuvre du registre de prise de vapeur v, et des deux cônes de frottement r et r'. Le levier m oscille autour d'un axe 5 monté sur deux supports. Sur cet axe est fixé, d'une part, le levier 6, qui manœuvre le registre v, et, d'autre part, un levier à fourche 7 (vue 2°) actionnant un petit plateau 8 dans lequel sont engagés les moyeux des cônes r et r', et au moyen duquel on peut les faire glisser le long de leurs axes. L'extrémité du levier m glisse le long d'un arc, monté sur un support, et sur lequel on peut fixer ce levier au moyen d'une vis de pression
M Manivelle unique de l'arbre A_1, et sur le tourillon de laquelle s'articulent les deux tiges de piston T.

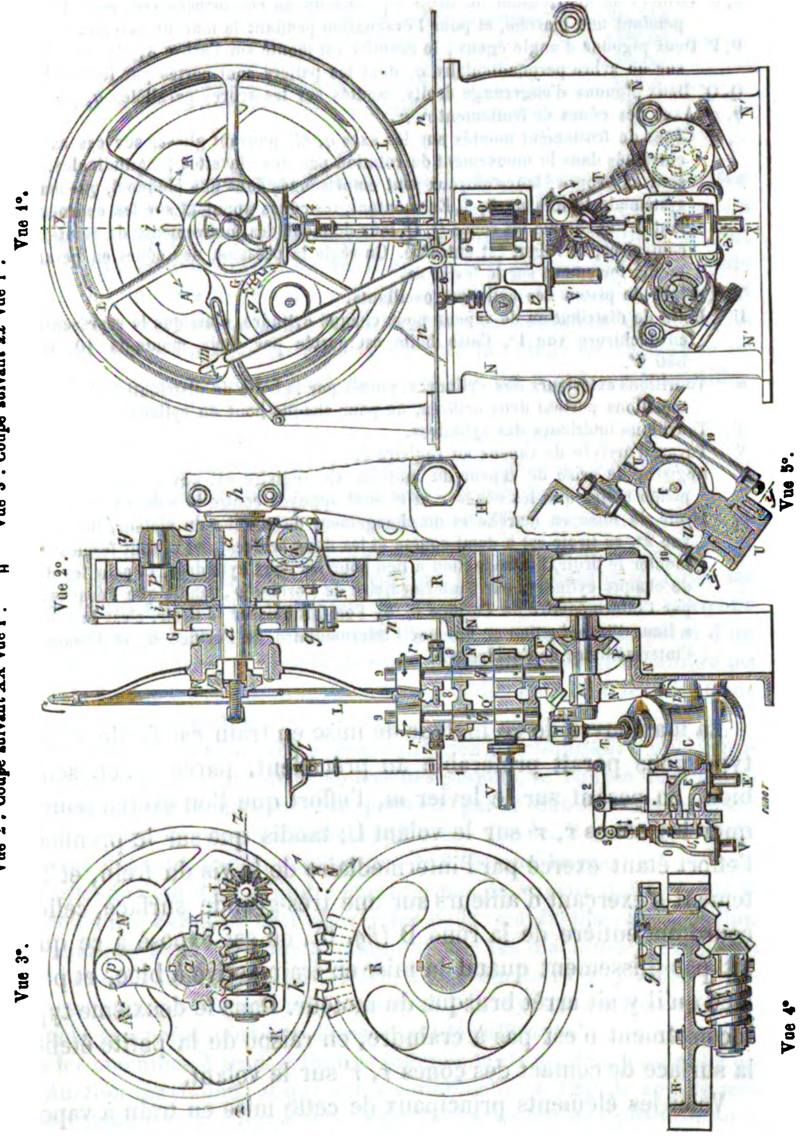


Fig. 7. — *Mise en marche à vapeur d'Indret pour mise en train Mazeline* : 2e type. — Échelle 1/30e.

Vue 1°. Élévation de face, avec coupe suivant *yy* vue 5°.
Vue 2°. Coupe suivant XX vue 1°.
Vue 3°. Coupe suivant *yy* vue 2°.
Vue 4°. Coupe suivant *zz* vue 3°.
Vue 5°. Coupe suivant *xx* vue 1°.

N Bâti entourant la roue R, et sur lequel se trouve un des paliers de l'arbre A_1.

N' Bâti supplémentaire, rapporté sur le bâti N, et sur lequel se trouve le deuxième palier de l'arbre A_1, ainsi que le palier des axes q, q' des cônes de frottement et de leur transmission de mouvement.

O Boîte du tiroir de mise en marche et de renversement de marche du moteur à vapeur.

o, o' Orifices de distribution du tiroir v'_1; chacun de ces orifices sert pour l'introduction pendant une marche, et pour l'évacuation pendant la marche inverse.

P, P' Deux pignons d'angle égaux; le premier est monté sur l'arbre A_1; le second est monté sur un arbre perpendiculaire q, dont les paliers sont portés par le bâti N'.

Q, Q' Deux pignons d'engrenage droits, montés sur les arbres parallèles q, q'.

q, q' Axes des cônes de frottement r, r'.

r, r' Cônes de frottement montés sur les axes q, q', pouvant glisser sur ces axes et étant entraînés dans le mouvement de rotation par des clavettes longitudinales. Ces cônes sont en bronze; leurs moyeux sont emprisonnés dans une plaque 8, que manœuvre le systèmede leviers m, 5, 7. En montant, les cônes appuient sur les couronnes du volant L; et comme les roues Q, Q' leur donnent des mouvements de rotation de sens contraires, le volant est entraîné. On règle la pression des cônes en pesant plus ou moins fortement sur le levier m.

T, T Tiges de piston des cylindres oscillants.

U Boîte de distribution de vapeur pour chaque cylindre, ainsi que le représente la coupe en déchirure vue 1°. Cette boîte est portée par deux montants 10, 10 fixés au bâti N'.

u Tourillons extérieurs des cylindres, portés par la boîte de distribution de vapeur U. Ces tourillons portent deux orifices, un pour chaque bout du cylindre.

u' Tourillons intérieurs des cylindres.

V Tuyau d'arrivée de vapeur au registre v.

v Registre de prise de vapeur du moteur. Ce registre est ouvert par le levier m, en même temps que les cônes r et r' sont appuyés contre le volant L.

v_1 Tiroir de mise en marche et de changement de marche du moteur. Dans la position vue 2°, ce tiroir est à demi-course et les deux orifices o et o' sont fermés. En faisant monter le tiroir, l'introduction a lieu pour les deux cylindres, et pour les deux bouts de chaque cylindre, par l'intermédiaire de l'orifice o', tandis que l'évacuation a lieu par l'intermédiaire de l'orifice o. Si l'on fait baisser le tiroir, c'est le contraire qui a lieu; l'introduction se fait par l'intermédiaire de l'orifice o, et l'évacuation par l'intermédiaire de l'orifice o'.

La manœuvre de ce moteur de mise en train est facile et sûre. Ce type nous paraît préférable au précédent, parce qu'on sent très-bien, en pesant sur le levier m, l'effort que l'on exerce pour appliquer les cônes r, r' sur le volant L; tandis que sur le premier type, l'effort étant exercé par l'intermédiaire de la vis du frein, et le frottement s'exerçant d'ailleurs sur une très-grande surface, celle de la couronne entière de la roue D (*fig.* 6), on est exposé à ce qu'il n'y ait pas glissement quand la mise en train arrive à bloc, et par suite à ce qu'il y ait arrêt brusque du moteur. Dans le deuxième type, cet inconvénient n'est pas à craindre, en raison de la petite étendue de la surface de contact des cônes r, r' sur le volant.

Voici les éléments principaux de cette mise en train à vapeur.

Diamètre des cylindres	0m,200
Course des pistons	0m,200
Diamètre du volant L à la hauteur du diamètre moyen des cônes r, r'	1m,380
Diamètre moyen des cônes r, r'	0m,130
Nombre de tours du volant L pour renverser la marche	2t,95
Nombre de tours des cônes r, r' pour d°	31t,314

Nombre de tours de la machine pour renverser la marche. . .	$31^t,314$
Nombre de tours de la machine par minute.	$188^t,00$
Pression dans les cylindres.	$3^{kg},00$
Puissance de la machine en chevaux de 75^{km}.	$31^{ch},5$
Temps nécessaire pour renverser la marche.	10^s

N° 34_7 Considérations relatives à la mise en marche des machines Woolf. — Pour qu'une machine puisse être mise en marche après avoir été stoppée dans une position quelconque, il faut que son couple moteur initial de rotation ne soit jamais nul. Ce couple moteur initial doit d'ailleurs être calculé avec l'hypothèse d'un vide nul au condenseur, et d'une pression de la vapeur aux cylindres égale à celle de la chaudière. Il importe de remarquer que la valeur de ce couple ne convient qu'au moment du départ, car la valeur du couple réel est différente dès que la machine est mise en marche.

Dans les machines à un seul cylindre, au repos, le couple initial de rotation est nul depuis la fermeture de l'introduction jusqu'à l'ouverture pour l'avance à l'introduction suivante, et négatif depuis le commencement de cette avance à l'introduction jusqu'au point mort. Une machine semblable ne peut donc jamais partir, quelle que soit d'ailleurs la pression initiale de la vapeur, lorsque le piston occupe une position comprise entre les limites que nous venons d'indiquer. Il arrive de plus qu'aux environs du point mort, et lorsque la manivelle du piston a franchi ce point d'un petit nombre de degrés, le couple de rotation est impuissant à vaincre les frottements de départ occasionnés par le poids des pièces et les réactions de la poussée sur le piston.

Dans les machines ordinaires à deux cylindres fonctionnant à une introduction supérieure aux 0,5 de la course des pistons, le couple de rotation n'est jamais nul, et la machine doit pouvoir partir dans toutes les positions, pourvu que la pression initiale soit assez élevée. Il arrive toutefois, même avec des introductions moyennes de 0,65, que la machine ne part pas si l'introduction d'un cylindre étant fermée, la vapeur qui agit sur le piston de l'autre cylindre doit relever les deux manivelles et les bielles. Cette remarque peut être faite notamment sur les machines à bielles en retour, lorsqu'il faut partir en arrière, l'introduction du cylindre avant étant fermée pour cette marche, la manivelle du cylindre arrière n'ayant pas franchi son point mort bas d'une quantité suffisante.

Dans les machines à trois cylindres indépendants qui fonctionnent à 0,4 d'introduction maximum, et qui ont les manivelles à 120°, le couple moteur de rotation n'est jamais nul. Mais il y a encore une position où la machine a le moins de facilité pour partir, et qui correspond à la fermeture de l'introduction dans le cylindre dont la manivelle suit, dans le sens de la marche à produire, la manivelle qui vient de franchir le point mort, car le cylindre de cette dernière manivelle reçoit seul la vapeur. — Le faible degré d'introduction pour le fonctionnement normal de ces machines est obtenu au moyen d'organes spéciaux de détente variable, qui ne se déclanchent pas et qui présentent même cette particularité que l'in-

troduction maximum est beaucoup plus faible pour la marche arrière que pour la marche avant. On donne à ces appareils une grande facilité de mise en marche, quel que soit le sens de la rotation, en mettant en communication les capacités des boîtes à tiroirs des trois cylindres, au moyen de tuyaux munis de robinets obturateurs montés sur les conduits de communication des boîtes à détente avec la boîte à tiroir. De cette façon, la vapeur pénètre toujours dans toutes les boîtes à tiroir, parce que les orifices des trois organes de détente ne sont jamais fermés tous à la fois. L'introduction naturelle par les tiroirs étant de 0,65 en moyenne, il en résulte que dans le genre de machine qui nous occupe, le couple moteur de rotation n'est jamais nul, et que la mise en marche est non-seulement possible, mais même facile dans toutes les positions que peuvent occuper les manivelles.

Les machines Woolf sont dans des conditions toutes particulières. Et d'abord, il est bien évident que si on introduisait seulement la vapeur dans le cylindre admetteur, la machine se comporterait au point de vue des facilités de mise en marche, comme une machine réduite à ces cylindres admetteurs, avec cette circonstance défavorable que les pistons des cylindres admetteurs devraient entraîner toute la transmission des cylindres détendeurs. Dans la plupart des cas, il est indispensable d'introduire directement dans les cylindres détendeurs pour déterminer la mise en marche.

Considérons une machine Woolf, à deux paires de cylindres bout à bout points morts communs. Les tiroirs sont généralement conduits par des secteurs et ont des régulations identiques. Avec l'introduction possible de la vapeur des chaudières dans les cylindres détendeurs, cette machine se trouve pour les cas les plus favorables, dans les conditions d'une machine à deux cylindres, l'action des cylindres admetteurs étant annulée par l'introduction de la vapeur sur les deux faces de leurs pistons. Mais il peut se présenter certaines positions des manivelles pour lesquelles les cylindres admetteurs gênent pour la mise en marche. — L'introduction directe des cylindres détendeurs facilitera la marche, tant que les orifices de ces cylindres seront ouverts et l'action des cylindres admetteurs sera nulle. Eu égard à la position des manivelles, la force qui produira le mouvement sera d'autant plus grande que la pression sera plus élevée. Quand les introductions des cylindres conjugués sont fermées, l'action du cylindre détendeur est nulle et le cylindre admetteur s'oppose à la mise en marche, parce qu'il reçoit la vapeur du côté de son évacuation. L'autre paire de cylindres ne peut déterminer le mouvement qu'en détruisant l'action négative du cylindre admetteur de la première; il faut par suite que la manivelle des cylindres qui agissent efficacement ait franchi le point mort d'une quantité sensible. Donc, l'introduction ne doit pas être inférieure à 0,6 de la course des pistons, au moins pour les cylindres détendeurs.

Considérons maintenant une machine Woolf à deux cylindres côte à côte, points morts, à 90°. Les tiroirs sont généralement conduits par des

secteurs, et peuvent avoir ou non des régulations identiques. Dans une machine semblable, il est nécessaire, pour mettre en marche, d'introduire directement dans le cylindre détendeur, lorsque la manivelle du cylindre admetteur occupe une position comprise entre celle qui correspond à la fermeture de l'introduction de ce cylindre et la position qu'elle occupe lorsque le point mort est franchi d'une quantité suffisante pour que son piston détermine seul le mouvement. Mais il se présente ici une nouvelle difficulté. L'évacuation du cylindre admetteur est ouverte pendant la moitié environ d'une révolution de la manivelle, et la vapeur introduite dans le cylindre détendeur ne peut agir efficacement à pleine pression que pendant une partie de cette demi-révolution; on est par suite exposé à produire sur le piston du cylindre admetteur une contre-pression qui annule, en raison de son bras de levier, la poussée sur le piston du cylindre détendeur. — Pour obvier à cet inconvénient, la vapeur n'est pas introduite dans la boîte à tiroir de ce dernier cylindre, mais bien directement dans ses orifices, au-dessous de son tiroir, au moyen d'un distributeur supplémentaire, qu'on manœuvre à la main et qu'on place à demi-course, où il ferme ses orifices, dès que la machine est lancée. On conserve ainsi au cylindre admetteur son action entière, tout en agissant efficacement sur le piston du cylindre détendeur. Ajoutons que ce tiroir supplémentaire permet de mettre en marche quel que soit le degré d'introduction naturelle dans les cylindres, puisqu'il est tout à fait indépendant, non-seulement des distributeurs ordinaires, mais même du mouvement de la machine. — Ajoutons encore que dans la plupart des cas, le tiroir supplémentaire dont il s'agit permet de mettre en communication l'un des bouts du cylindre détendeur avec le condenseur, tandis que l'autre bout reçoit la vapeur à pleine pression. — Cette circonstance permet de purger le condenseur, lorsqu'il n'y a pas de purges directes pour cet organe, et d'y établir par suite un vide qui facilite la mise en marche.

Enfin, considérons une machine Woolf, à trois cylindres égaux côte à côte points morts à 90° et 135°, seuls calages usités aujourd'hui pour ce genre de machine. A part quelques rares exceptions où les tiroirs de ces machines sont conduits par des secteurs, la mise en train est du système Mazeline, les tiroirs étant conduits par un arbre spécial parallèle à l'arbre moteur. Afin d'égaliser autant que possible le travail des trois cylindres, l'introduction du cylindre admetteur a été poussée à ses limites extrêmes, 0,88 de la course de son piston, tandis que l'introduction des cylindres détendeurs n'est que de 0,78. Il résulte évidemment de ces différences d'introduction que les manivelles des tiroirs n'ont pas le même angle de calage. Pour le cylindre admetteur, l'excentrique est en avance d'une moins grande quantité que pour les cylindres détendeurs. Sur quelques appareils, l'angle de renversement de marche a été fait égal au double du supplément de l'angle de calage du cylindre admetteur, le tiroir étant en coquille, ou au double de cet angle, le tiroir étant en D. Il en résulte que la régulation du cylindre admetteur est la même pour les deux sens de la rotation; mais pour les cylindres détendeurs, l'excentrique est moins avancée pour la marche arrière que pour la marche avant; il y a par

suite retard à l'introduction et augmentation de la durée de l'introduction pour ces derniers cylindres, lors de la marche arrière.

Avec ce genre de machines, la vapeur est introduite directement, lors de la mise en marche, dans le conduit d'évacuation du cylindre admetteur, en même temps que dans ce cylindre. Les cylindres détendeurs reçoivent la première vapeur pendant toute la durée de leur introduction et leur action est positive pour la mise en marche; cette action est nulle pendant la période de détente naturelle et ne devient négative que pendant l'avance à l'introduction. Le cylindre admetteur reçoit la vapeur sur les deux faces de son piston pendant toute la durée de son introduction, et son action est nulle pour la mise en marche. Mais, pendant la période de détente, et avant l'avance à l'évacuation, la vapeur introduite par l'évacuation ouverte agit à contre sens de la marche et l'action du cylindre admetteur est négative. Si l'on est, pour le cylindre admetteur, dans la période de l'avance à l'évacuation, la vapeur introduite par cette évacuation agit efficacement, puisque la compression a commencé de l'autre côté et que la vapeur ne peut y pénétrer; mais l'action de son piston s'exerce toujours à l'extrémité d'un bras de levier très-faible. — Somme toute, le cylindre admetteur est plus nuisible qu'utile à la mise en marche, et le départ repose sur les deux cylindres détendeurs. — Il importe surtout de noter que la mise en marche sera d'autant plus facile que l'introduction sera plus grande dans tous les cylindres. — Or, de ce que les excentriques des cylindres détendeurs sont en avance d'une moins grande quantité pour la marche arrière que pour la marche avant, il en résulte une augmentation de la période d'introduction de ces cylindres pour la marche arrière, et par suite, une augmentation de l'espace angulaire pendant lequel les cylindres détendeurs agissent efficacement avant l'arrivée de leurs pistons au point mort. Mais il se produit un retard à l'introduction pour la marche arrière, et pendant les premiers instants de la course rétrograde de chaque piston de cylindre détendeur, l'action de ce piston est nulle. Avec ce genre de régulation, la position la plus favorable au départ est celle qui correspond à la demi-course environ du piston du cylindre admetteur, parce que, quel que soit le sens de la marche, la machine peut être bien lancée par l'un des cylindres détendeurs. — La valve d'introduction directe dans les cylindres détendeurs devrait démasquer une grande section, afin d'éviter autant que possible la diminution de pression qui se fait sentir dans ces cylindres dès que la machine se met en marche.

Pour quelques autres appareils, l'angle de renversement de marche est approprié à l'angle de calage des cylindres détendeurs, mais il est trop petit pour l'angle de calage du cylindre admetteur. Par suite, les cylindres détendeurs ont la même régulation pour les deux sens de la rotation, tandis que pour le cylindre admetteur, l'avance à l'introduction et la période de détente sont beaucoup plus grandes pour la marche arrière que pour la marche avant. Le départ en arrière sera très-difficile, sinon impossible, si l'introduction du cylindre admetteur est fermée, car la vapeur agit à contre-sens sur le piston de ce cylindre par la face opposée dont l'é-

vacuation est ouverte ; le piston du cylindre avant est près d'atteindre son point mort, et le départ repose uniquement sur le cylindre arrière. Avec ce genre de régulation, plus encore qu'avec le précédent, il importe de placer la machine pour que le piston du cylindre admetteur soit vers le milieu de sa course, afin que l'introduction soit encore ouverte et que l'action de ce cylindre soit nulle.

Afin de remédier à l'action négative du piston du cylindre admetteur lorsque la machine est stoppée, l'introduction de ce cylindre étant fermée, la compagnie des *Messageries maritimes* a fait placer un tuyau avec robinet obturateur, mettant en communication les deux extrémités de ce cylindre admetteur, de manière à l'annuler complétement pendant tout le temps de la manœuvre. Cette même disposition a été prise, mais dans une mesure restreinte et seulement en utilisant les orifices d'indicateurs, sur plusieurs croiseurs de la marine, notamment sur le *Champlain*, le *Dupetit-Thouars*, le *Hugon* et le *Beautemps-Beaupré*. — La compagnie des *Messageries maritimes* a même utilisé le tuyautage dont il s'agit pour supprimer les deux excentriques de marche arrière du cylindre admetteur dont les tiroirs sont conduits chacun par un seul excentrique claveté à demeure pour la marche avant. Lorsque la machine doit fonctionner en arrière, on change le mouvement de mise en train des deux cylindres détendeurs et, à l'aide d'une seule et même tringle, on ouvre à la fois l'introduction directe dans ces cylindres et la communication entre les deux bouts du cylindre admetteur. Les tiroirs de ce dernier cylindre distribuent à contre-vapeur, mais son piston ne travaille pas, et la machine fonctionne en arrière avec ses deux cylindres détendeurs introduisant directement. Le tuyau de communication entre les deux bouts du cylindre admetteur a une section égale à celle du tuyau d'introduction directe dans les cylindres détendeurs.

On trouvera au n° 71_4 la manière de déterminer, avec le couple moteur de départ d'une machine, les positions défavorables à la mise en marche.

N° 34_8 Renvois de mouvements pour détente variable par les chantiers de l'Océan. — Soupape équilibrée formant registre de Maudslay. — Les renvois de mouvement dont il est ici question appartiennent à l'organe de détente de la machine à trois cylindres indépendants, *sect.* 2, *pl.* I. Ils sont représentés à grande échelle par la *fig.* 10, *pl.* VI, dont voici la légende.

a Arbre des tiroirs. Fig. 10, Pl. VI.
c Excentrique de détente.
G Glissière verticale, sur le bâti. Cette glissière est placée au-dessous de l'arbre des tiroirs ; sa ligne médiane est dans le plan vertical qui passe par l'axe de cet arbre.
h Palier de l'arbre des tiroirs
h' Palier de support de l'axe de la détente ; ces paliers sont fixés sur celui de l'arbre des tiroirs, un de chaque côté de cet arbre.



J Axe de la détente à papillon.

j Bielle d'excentrique de détente.

K Bielle à fourche qui embrasse l'arbre des tiroirs. Les extrémités supérieures de cette bielle sont articulées sur deux petites manivelles implantées sur l'axe de la détente, et qui sont parallèles à l'arbre des tiroirs dans leur position moyenne d'oscillation. L'extrémité inférieure *k* forme coulisseau dans la glissière G. Cette extrémité possède deux mouvements : l'un rectiligne dans la glissière G, l'autre oscillant autour d'un tourillon *o''* représenté par le cercle pointillé vue 2°, et qui est noyé dans cette extrémité inférieure de la bielle K. Le tourillon *o''* est traversé à son tour, à frottement doux et à angle droit, par un tourillon plus petit *o'*, que porte la manivelle M. La longueur du tourillon *o''* est d'ailleurs un peu plus petite que la largeur de la glissière G.

M Manivelle fixée sur un axe *o* qui oscille dans un bossage du bâti. La manivelle M porte, du côté opposé au bâti, une glissière à queue d'aronde dans laquelle s'engage un coulisseau de même forme M'.

M' Coulisseau à queue d'aronde ajusté dans la glissière de la manivelle M. Ce coulisseau porte à l'une de ses extrémités l'articulation du pied de bielle d'excentrique, et à l'autre, l'articulation d'une bielle *l* qui fait partie du mécanisme modificateur du degré de détente.

m, m', N, l, l', l'_1 Organes modificateurs du degré d'introduction par l'organe de détente variable. Le volant *m* est monté sur une tige taraudée à sa partie inférieure dans un espèce de fuseau *m'*; cette tige est retenue, dans le sens vertical, sur la douille m_1, par le volant qui est au-dessus et par l'embase qui est au-dessous, mais elle peut tourner librement dans la douille m_1 fixée elle-même à un montant. Le fuseau *m'* actionne l'arbre N qui règne sur toute la longueur de la machine, par l'intermédiaire du levier *l'*. L'arbre N, qui est parallèle à l'arbre des tiroirs, porte trois manivelles l'_1, une pour chaque organe de détente, qui agissent, par l'intermédiaire des bielles *l*, sur les coulisseaux M', pour changer leur position dans la rainure de la manivelle M, et produire ainsi un changement de course de l'organe de détente. — La partie de la tige du volant *m* qui est logée dans la douille m_1, est taraudée et porte un écrou mobile dans le sens de l'axe ; la douille m_1 est évidée pour recevoir cet écrou qui est armé d'un index sortant par une fenêtre rectangulaire qui règne sur toute la longueur de la douille m_1 ; cet index empêche l'écrou de tourner et marque sur une graduation *ad hoc* le degré d'introduction qui correspond à chacune des positions du coulisseau M' sur la manivelle M.

n Bâti de l'arbre des tiroirs.

o Axe d'oscillation de la manivelle M et bossage du bâti pour recevoir cet axe d'oscillation.

o' Tourillon par l'intermédiaire duquel le mouvement d'oscillation de la manivelle M se transforme en mouvement rectiligne, dans la glissière G, de l'extrémité inférieure *k* de la bielle à fourche K qui forme coulisseau dans cette glissière.

o'' Tourillon d'oscillation du pied *k* de la bielle à fourche K. L'oscillation de cette bielle se fait dans un sens perpendiculaire à celui de la bielle d'excentrique. Pendant que la bielle monte en ligne droite suivant la glissière G, le tourillon *o'* décrit un arc de cercle autour de l'axe *o* et entraîne avec lui le tourillon *o''* ; pendant ce temps, la bielle oscille sur ce dernier tourillon tout en montant dans un plan vertical, parce que son pied est guidé par la glissière G.

O' Boîte à détente renfermant le papillon obturateur. Cet organe ouvre en grand à mi-course ; dans cette position, la manivelle M est horizontale ou à peu près.

Lorsque l'organe de détente possède sa course moyenne, le tourillon du pied de bielle d'excentrique est juste dans le plan vertical de l'axe de l'arbre du tiroir, et par suite de l'axe du tourillon *o*, comme sur la *fig.* 10. Si on remonte le fuseau *m'* en tournant le volant *m* à droite, le pied de bielle d'excentrique se rapproche de

l'axe d'oscillation *o* de la manivelle M, et la course de l'organe de détente est augmentée, ce qui fait diminuer le degré d'introduction. Si on fait descendre le fuseau *m'*, en tournant le volant *m* à gauche, le pied de bielle d'excentrique s'écarte de l'axe d'oscillation *o* de la manivelle M, et la course de l'organe de détente diminue, ce qui fait augmenter le degré d'introduction.

Il y a lieu de remarquer que le changement d'introduction ne résulte pas uniquement du changement de course de l'organe de détente. Il y a aussi l'influence de l'angle de calage de l'excentrique dont la valeur change à chaque déplacement du pied de bielle, toutefois ces changements de l'angle de calage n'ont pas une grande importance. — L'organe de détente est bien réglé pour des introductions variant de 0,25 à 0,40 de la course du piston, cette dernière étant l'introduction maximum à laquelle la machine doit fonctionner. Il n'existe pas de mécanisme de déclanchement, et pour marcher en arrière, on place l'index au bas de sa course sur la douille m_1, position qui correspond à la course minimum de l'organe de détente, pour laquelle course les orifices ne sont jamais complétement fermés. Le changement d'introduction à l'aide du mécanisme que nous venons de décrire, s'effectue en marche sans aucune difficulté, et à ce point de vue, ce mécanisme est bien préférable à celui qui était précédemment employé par l'usine Mazeline pour les mêmes organes de détente (n° 135_5 du *Gd Traité*).

Soupape équilibrée pour registre de Maudslay. — Cette soupape, appliquée aux machines Woolf à pilon à deux paires de cylindres bout à bout du paquebot *France*, règle l'arrivée de vapeur dans les deux cylindres admetteurs. Elle est représentée par la *fig.* 17, *pl.* V dont voici la légende.

V Tuyau d'arrivée de la vapeur venant des chaudières. Fig. 17_7, Pl. V.

V' Canal annulaire pratiqué dans la boîte de la soupape de prise de vapeur, et entourant cette soupape.

v Soupape de prise de vapeur, formée de deux clapets de diamètres peu différents, et s'ouvrant dans le même sens. Il résulte de cette disposition que la soupape *v* est en grande partie équilibrée. La différence des pressions qui produit une résistance à la manœuvre, résulte seulement de l'excès de la surface du grand clapet sur celle du petit.

V_1 Canal intérieur dans lequel pénètre la vapeur après avoir franchi la soupape *v*.

V'_1 Tuyau amenant la vapeur au cylindre admetteur de l'arrière.

V'_2 Tuyau amenant la vapeur au cylindre admetteur de l'avant.

Ce genre de registre se manœuvre avec la plus grande facilité. L'excès de la surface du clapet supérieur sur celle du clapet inférieur assure la

bonne fermeture du registre; les clapets conservent une certaine tendance à retomber sur leur siége par suite de la non équilibration complète de la poussée de la vapeur sur ces clapets.

Sur le *Tourville*, les *forges et chantiers de la Méditerranée* ont installé des registres semblables à celui qui nous occupe, et n'en différant que par l'égalité de diamètre des deux soupapes. Le serrage de ces organes sur leurs siéges s'effectue au moyen d'une vis et d'un petit volant.

CHAP. III, § 2. — Théorie et description des régulateurs en général et des régulateurs marins en particulier.

N° 35. — 1. Des divers systèmes de régulateurs. — 2. Régulateurs à inertie. — 3. Régulateurs à action pneumatique ou hydrostatique. — 4. Régulateur Silver à ailettes. — 5. Des diverses espèces de régulateurs à force centrifuge.

N° 35_1 Des divers systèmes de régulateurs. — Les régulateurs du mouvement se divisent en deux grandes classes. La première comprend ceux qui font varier le travail moteur, et la seconde ceux qui font varier le travail résistant. Les régulateurs de la première classe sont seuls applicables aux machines industrielles; ceux de la seconde sont employés à uniformiser le mouvement des instruments d'horlogerie ou d'astronomie.

Les régulateurs qui font varier le travail moteur, les seuls dont nous ayons à nous occuper, ont leur jeu qui dépend soit d'une action d'inertie, soit d'une action pneumatique ou hydrostatique, soit de la résistance des palettes dans l'air ou dans un liquide, soit enfin, de l'action de la force centrifuge. Les régulateurs à force centrifuge seront étudiés en détail; nous nous contenterons de rappeler les dispositions principales des autres systèmes de régulateurs en faisant ressortir leurs facultés (n° 18_8).

Il importe de remarquer que les régulateurs quel que soit leur système, peuvent être à action continue ou discontinue. Les premiers sont applicables à toutes les machines; leur action se fait sentir dès qu'il se produit une variation de vitesse capable de les mettre en mouvement, ce qui a lieu le plus souvent, avant que cette vitesse ait atteint les limites qu'elle ne doit pas dépasser. Les régulateurs à action discontinue ne sont applicables qu'aux machines dont le travail résistant éprouve des variations brusques et considérables, comme cela a lieu pour les machines des laminoirs, ou bien pour les machines marines lorsqu'il se produit des changements rapides d'im-

mersion des propulseurs. Ces régulateurs ont seulement pour but de limiter les valeurs extrêmes que la vitesse de rotation peut prendre. Pour qu'il ait assez d'activité (n° 18_3), un régulateur à action discontinue ne doit pas manœuvrer lui-même l'organe de vapeur; il faut que ce soit la machine qui mette cet organe en marche, l'action du régulateur se bornant à établir une liaison entre les mécanismes de la transmission de mouvement de la machine à l'organe de vapeur.

Hâtons-nous d'ajouter qu'aux facultés énumérées au n° 18_5, le régulateur marin doit joindre les qualités suivantes :

1° *Être indifférent à l'action de la pesanteur*, afin que les mouvements de roulis et de tangage n'aient aucune influence sur son fonctionnement.

2° *Permettre de changer l'allure de la machine et de passer rapidement d'un nombre de tours constant à un autre nombre de tours également constant.* — Cette condition ne peut-être remplie que si le changement d'allure peut se faire sans déclancher le régulateur. Il ne faut pas d'ailleurs que ce changement se fasse brusquement, mais progressivement, pour éviter les chocs et surtout les entraînements d'eau dans les cylindres.

3° *Pouvoir fonctionner lors de la marche en arrière comme lors de la marche en avant.* — Il doit d'ailleurs pouvoir être facilement déclanché, car il ne peut être employé pour l'allure à toute vitesse (n° 18_6), lorsqu'on veut utiliser le maximum de production de vapeur aux chaudières; de plus il pourrait être un obstacle pour les manœuvres rapides.

N° 35_2 Régulateurs à inertie. — Les régulateurs fonctionnant uniquement sous l'influence de la force à laquelle l'inertie de pièces pesantes donne naissance, par suite des variations de la vitesse, sont en petit nombre; ces régulateurs ne sont d'ailleurs applicables qu'aux machines de faible puissance.

Régulateur de Poncelet. — *Poncelet* a, le premier, construit un régulateur de ce genre qui comporte deux roues dentées montées sur l'arbre de la machine et engrenant avec deux pignons montés sur un arbre parallèle au premier, et avec l'un desquels fait corps un fort volant. L'une des roues est clavetée sur l'arbre moteur, tandis que l'autre est folle, mais se trouve reliée à cet arbre par l'intermédiaire d'une lame d'acier formant ressort. Le pignon de la première roue est également claveté sur son arbre; le second, qui engrène avec la roue folle, est taraudé sur l'arbre, et c'est lui qui manœuvre la valve.

Lorsque le mouvement est uniforme, les deux roues se déplacent en même temps, le ressort à lame n'étant tendu que de la quantité nécessaire pour entretenir le mouvement de rotation du pignon taraudé et du volant qu'il porte. S'il survient une variation de vitesse, cette variation se communique immédiatement à la roue et au pignon clavetés; mais le volant résiste par son inertie, et il en résulte un déplacement angulaire de la roue folle et de son pignon, et par suite un déplacement longitudinal de ce dernier à la suite duquel l'ouverture de la valve est modifiée. Pendant le déplacement angulaire de la roue folle et de son pignon, la lame d'acier a pris une certaine tension, et réagit sur la roue dès que l'écart de la vitesse est réprimé. Cette tension tend à ramener la roue folle, ainsi que son pignon et par suite la valve, à la position primitive que chacune de ces pièces occupait avant la variation de la vitesse. Il résulte de cet état de choses que si la cause de la variation de vitesse persistait, il se produirait immédiatement un nouvel écart de la vitesse de régime, et que le volant prendrait peu à peu la nouvelle vitesse de l'appareil moteur. Pour obvier à cet inconvénient, le pignon mobile a les dents taillées suivant une hélice, de manière que le mouvement même de ce pignon sur son axe taraudé permette à la roue folle de reprendre sa position angulaire primitive, par rapport à la roue fixe, dès que l'écart de vitesse est corrigé, sans qu'il en résulte un déplacement en sens contraire du pignon qui manœuvre la valve.

Ce régulateur ne peut maintenir rigoureusement un régime constant, parce qu'il faut évidemment que le volant subisse une partie de la variation de vitesse de l'appareil moteur pour développer la force capable de manœuvrer la valve. Mais comme ce régulateur a beaucoup de sensibilité et d'activité, la vitesse peut être maintenue dans des limites très étroites si le poids du volant est considérable. Il y a lieu de remarquer que l'activité de cet appareil serait trop grande si la lame d'acier étant supprimée, la roue, actuellement folle, devenait fixe sur l'arbre. Dans ces conditions, l'inertie du volant se manifesterait brusquement à chaque variation de vitesse, et la valve serait portée tout d'un coup à l'une de ses positions extrêmes, ouvrant en grand son orifice ou le fermant complètement. — Ce régulateur ne se prête que difficilement à un changement de régime; cependant, il est possible de faire varier l'allure de la machine, en agissant à la main sur les mouvements de transmission du régulateur à la valve, dans le double but de modifier le travail moteur et d'obliger le volant à prendre la nouvelle vitesse de régime que l'on veut avoir.

Régulateur de Müller et Knülle. — Ce régulateur se compose essentiellement d'un volant assez puissant, tournant d'un mouvement rapide, et rattaché par l'intermédiaire d'un ressort en hélice à une poulie de réception du mouvement de la machine. Ce volant est taraudé sur l'axe de la poulie, et cette dernière reçoit le mouvement de la machine par l'intermédiaire d'une courroie qui ne possède pas une puissance d'entraînement trop considérable. Ce régulateur n'est pas destiné à maintenir un

nombre de tours constant, mais seulement à limiter les accélérations brusques du mouvement de rotation. Dès que l'allure de la machine subit une accélération soudaine, l'inertie du volant faisant obstacle à cette modification, les situations respectives de la poulie commandée par la machine et du volant régulateur se trouvent altérées; le déplacement angulaire est transformé en mouvement longitudinal par le pas de vis dont il a été parlé, et un système de leviers qui opère la fermeture de la valve de vapeur.—L'emploi de la courroie et la limitation de sa puissance d'entraînement ont pour but d'empêcher le volant d'acquérir trop promptement l'accroissement de vitesse de la machine, auquel cas l'action modératrice cesserait trop tôt, parce que le volant reprend sa position primitive sur son axe taraudé, dès que sa vitesse de rotation est la même que celle de la machine. Il est ramené peu à peu à cette position par la réaction du ressort en hélice dont la tension est plus grande tant que le volant a une vitesse inférieure à celle de l'appareil moteur. — Il faut donc que pendant un temps variant de trois à cinq secondes environ, la courroie glisse sur la poulie de réception, la fermeture de la valve continuant ainsi à être maintenue par la différence entre l'allure modérément accélérée de la machine et celle toujours sensiblement constante du volant régulateur.

Cet instrument n'est pas sensible aux faibles variations de la vitesse de régime; il resterait même insensible aux variations considérables qui se produiraient lentement, parce que le volant prendrait peu à peu, sans manœuvrer la valve, la même vitesse que la machine. L'activité de ce régulateur dépend de la masse du volant, qui doit être d'ailleurs considérable pour que sa vitesse ne soit pas sensiblement modifiée par les écarts de la vitesse de rotation, ces écarts étant réprimés assez tôt.

Régularisation du mouvement d'une machine puissante au moyen d'une petite machine dont le mouvement est uniforme. — On a proposé récemment, pour régulariser le mouvement d'une machine, un système qui consiste en un petit cheval dont on règle la vitesse uniforme par un gros volant. L'arbre de ce petit cheval porte à son extrémité un écrou qui peut se visser ou se dévisser sur un axe qui commande la valve de vapeur du grand appareil, et qui, par ailleurs, reçoit son mouvement de rotation de l'arbre de couche, tout en pouvant glisser dans le sens de sa longueur. Le mouvement de rotation du petit cheval maintenu fixe, est réglé de manière à être égal à celui de l'axe en question pour une vitesse déterminée du grand appareil. Dès lors, on comprend que lorsque la vitesse varie, l'axe précité se visse ou se dévisse suivant sa longueur dans l'écrou de l'arbre du petit cheval et la valve de vapeur du grand appareil change de position. Ce système opère en utilisant l'inertie qu'oppose l'arbre du petit cheval, dont le mouvement est supposé régulier, à suivre les variations de vitesse de l'arbre moteur.

La transmission de mouvement de la machine au levier de manœuvre de la valve, ne saurait être rigide; autrement, la *sensibilité* et l'*activité* (n° 18,)

du régulateur seraient trop grandes, et la valve serait manœuvrée non-seulement sous l'influence des plus petites variations de la vitesse moyenne, mais encore sous l'influence des variations périodiques qui se produisent pendant la durée d'un tour. Avec une transmission de mouvement par courroie, ce régulateur conserverait encore une sensibilité et une activité considérables. Mais toute la difficulté consiste à rendre uniforme le mouvement de l'arbre du petit cheval, et la question ne nous paraît pas résolue, mais seulement déplacée et transportée de la machine motrice à la machine régulatrice. — Il est évident que l'allure de l'appareil moteur varierait avec celle du petit cheval, et qu'avec ce système de régulateur, on pourrait faire varier à volonté le nombre de tours.

N° 35, Régulateurs à action pneumatique ou hydrostatique. — Les régulateurs à action pneumatique ont, en général, donné des résultats assez médiocres, parce que leurs facultés son peu développées. Les régulateurs à action hydrostatique sont plus sensibles et surtout plus actifs. Il en a été d'ailleurs construit un petit nombre des uns et des autres.

Régulateur pneumatique de Larivière. — Ce régulateur consiste en un cylindre muni d'un piston, et hermétiquement clos à sa partie supérieure, à un petit trou près dont l'ouverture est variable par un couvercle. Le collet inférieur du cylindre repose, sans jonction étanche, sur un des bâtis de la machine à vapeur. De son côté, la partie supérieure précitée est en communication continuelle avec une petite pompe pneumatique aspirante et foulante conduite par l'arbre de couche, et dont le mouvement s'accélère avec celui de cet arbre. Enfin le piston du cylindre commande, à l'aide de sa tige et de renvois de mouvement convenables, la valve de prise de vapeur. Ce piston est d'ailleurs contre-tenu par un ressort qui tend toujours à le ramener dans la position pour laquelle la valve est ouverte en grand. On conçoit dès lors que, suivant que la rotation de l'arbre de couche est elle-même plus ou moins rapide, le vide est plus ou moins parfait au-dessus du petit piston, et que celui-ci monte ou descend en manœuvrant la valve de prise de vapeur. On règle du reste le modérateur de façon qu'il ferme cette valve pour telle vitesse de rotation qu'on désire, en modifiant l'ouverture du trou de communication de la partie supérieure du cylindre avec l'air extérieur.

Les dimensions du cylindre à air et celles de la pompe doivent naturellement être en rapport avec la résistance de la valve. Dans tous les cas, ce régulateur est peu sensible; il faut en effet qu'il se produise une variation assez considérable de la vitesse pour déterminer un accroissement de vide capable de mettre la valve en mouvement, parce que la vitesse d'introduction de l'air dans le cylindre augmente rapidement avec le vide. L'activité de ce régulateur est très-variable; cette activité est faible lors d'une accélération, d'abord parce qu'à mesure que le piston monte, l'espace vide diminue et peut être plus facilement rempli, et ensuite parce que le

ressort de rappel se comprime de plus en plus et exige un vide plus grand pour entretenir le mouvement. Lors d'un ralentissement, le ressort tend à augmenter l'activité du régulateur; mais par contre, le vide tend à se rétablir par suite du plus grand espace que le piston laisse derrière lui à mesure qu'il avance. En somme, ce régulateur, qui a été souvent appliqué sur des machines fixes, n'a pas donné de bons résultats.

Régulateur à soufflet de Molinié. — Ce régulateur a la forme d'un soufflet cylindrique à double effet, dont le plateau intermédiaire est fixé à un système de bâtis. Le plateau inférieur reçoit un mouvement de va-et-vient d'une bielle mue par la machine, et refoule l'air dans le compartiment supérieur du soufflet. Ce dernier communique par un tube élastique avec un orifice placé sur le bâti et dont on règle à volonté l'ouverture. Le plateau supérieur est chargé d'un contre-poids et manœuvre la valve par l'intermédiaire d'un système de leviers. — On comprend qu'en réglant convenablement l'ouverture de l'orifice par lequel peut s'échapper l'air refoulé dans le compartiment supérieur du soufflet, on puisse maintenir le plateau du haut et par suite la valve, dans une position convenable pour une vitesse donnée; ce résultat est obtenu quand la quantité d'air refoulée, par tour, dans le compartiment supérieur du soufflet, est juste égale à celle qui s'échappe dans le même temps par l'orifice de ce compartiment. — S'il se produit une accélération, la quantité d'air refoulée devient plus grande; le plateau s'élève et l'ouverture de la valve est diminuée. S'il se produit un ralentissement, la quantité d'air refoulée diminue; le contre-poids abaisse le plateau mobile et l'ouverture de la valve est augmentée.

Le soufflet fonctionne comme une pompe à simple effet, de sorte que le plateau supérieur est constamment en mouvement, même quand la vitesse moyenne ne change pas; il en résulterait un mouvement corrélatif de la valve, et par suite une variation périodique de la vitesse, si l'on n'avait pas soin de donner à l'une des articulations de la transmission de mouvement le jeu nécessaire (sous forme d'un œil rectangulaire), pour que le plateau supérieur puisse effectuer ses allées et venues périodiques sans manœuvrer la valve, tant que l'amplitude de ses oscillations ne change pas. — Ce régulateur manque de *sensibilité* et même d'*activité*; il ne pourrait, en effet, fermer assez rapidement la valve s'il se produisait une accélération considérable, car son action étant intermittente, il n'agit à chaque tour sur l'organe d'arrêt, que de la quantité correspondante à la différence entre le volume d'air introduit et le volume d'air qui s'échappe par l'orifice. Pour remédier, au moins en partie, à cet inconvénient, il existe une transmission particulière de mouvement du régulateur à la valve, qui n'est actionnée que lorsque le plateau supérieur atteint, en s'élevant, le point distant de la limite extrême de son excursion, d'une quantité égale à sa plus grande amplitude d'oscillation périodique. A ce moment, le rapport des bras de leviers de cette transmission particulière permet de mettre rapidement la valve en avance sur le régulateur de tout le jeu qui existe

dans l'articulation précitée, et de faire fermer complétement cette valve par un faible déplacement du plateau supérieur.

Régulateur pneumatique de Cunliffe et Dunlop. — Ce régulateur, dont l'usage tend à se répandre dans la marine marchande, fonctionne sous l'influence des variations d'immersion de l'arrière du bâtiment; il n'est par suite destiné qu'à empêcher les écarts considérables de la vitesse de rotation qui peuvent se produire par gros temps. — Une chambre à air est fixée contre la partie arrière du navire, dans le tunel de la ligne d'arbres; la partie inférieure de cette chambre à air communique avec la mer au moyen d'une prise d'eau, et la partie supérieure communique, au moyen d'un tuyau, avec un récepteur placé dans la machine. Ce récepteur est une espèce de boîte à soupape renfermant, en guise de clapet, un diaphragme plein, en caoutchouc, formant joint étanche pour empêcher toute communication entre la chambre à air et l'intérieur du bâtiment. Ce diaphragme, dont les bords sont emprisonnés dans un joint des deux parties dont la boîte est formée, est contre-tenu par un ressort à boudin qui appuie sur une rondelle métallique fixée en son milieu. Une deuxième rondelle, placée de l'autre côté du diaphragme, est rivetée avec la première pour faire la liaison. Une tige métallique est fixée avec écrou sur les deux rondelles, au centre du diaphragme, et l'extrémité de cette tige est reliée à la valve de vapeur au moyen de renvois de mouvement convenablement disposés.

Quand on ouvre la communication de la chambre à air avec la mer, l'eau pénètre dans cette chambre et comprime l'air qu'elle contient; le diaphragme du récepteur s'élève jusqu'à ce que la tension de son ressort fasse équilibre à la pression de l'air. Cette tension peut d'ailleurs être réglée au moyen d'une vis dont l'extrémité lui sert de point d'appui et qui se taraude dans le sommet de la boîte du récepteur. En faisant varier la tension du ressort, on peut donner à la valve telle ouverture que l'on veut, quel que soit le tirant d'eau du bâtiment. La vis de réglage de la tension du ressort est traversée par la tige du diaphragme et sert de guide à cette tige. — Tant que l'immersion de l'arrière ne change pas, le diaphragme du récepteur reste immobile et il en est de même de la valve. Mais s'il se produit des variations d'immersion, l'air se trouve plus ou moins comprimé, et chacune des variations de sa pression est transmise au diaphragme qui met la valve en mouvement.

Cet instrument n'est pas réglé pour un nombre de tours déterminé, mais bien pour une immersion donnée du propulseur, de sorte que la valve est complétement fermée par une immersion minimum, quelle que soit d'ailleurs l'allure de la machine; c'est là le principal avantage de ce régulateur, qui prévient ainsi les écarts de régime au lieu de les réprimer. La sensibilité et l'activité de ce régulateur sont suffisantes, et cet instrument paraît avoir donné de bons résultats sur les bâtiments où il a été appliqué. La communication de la chambre à air avec la mer a une grande section, ce qui permet à l'eau de changer rapidement de niveau dans la chambre à air à chaque différence d'immersion qui se produit; l'*activité* de ce régu-

lateur est en rapport avec la rapidité des changements d'immersion du propulseur.

Régulateur hydraulique de Mazeline. — Le régulateur hydraulique appliqué par *Mazeline* sur les appareils moteurs de *l'Hirondelle*, comporte un cylindre ouvert à l'air libre par une de ses extrémités et dans lequel se meut un piston muni d'une tige qui actionne, par l'intermédiaire d'une bielle, une manivelle calée sur l'axe d'un papillon formant registre de vapeur. Le piston de ce cylindre est soumis à la pression de l'eau refoulée par la pompe de circulation du condenseur, pression qui augmente ou diminue avec le nombre de tours de l'appareil moteur. Un ressort dont on règle à volonté la tension, agit sur une seconde manivelle de l'axe du papillon, et tend à équilibrer la pression exercée par l'eau sur le piston du régulateur. On conçoit qu'en réglant convenablement la tension de ce ressort, on puisse arriver à déterminer pour la valve de vapeur, une position qui corresponde au nombre de tours que l'on veut obtenir. Si la vitesse augmente, la pression de l'eau sur le piston du régulateur devient plus grande, et l'ouverture de la valve de vapeur diminue jusqu'à ce que la tension soit suffisante pour équilibrer cette pression de l'eau. Si la vitesse diminue, la pression de l'eau sur le piston du régulateur devient plus faible; la tension du ressort n'est plus équilibrée, et ce ressort agit sur la valve pour augmenter son ouverture jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau rétabli. A cause des réservoirs d'air de la pompe de circulation, la *sensibilité* de ce régulateur est suffisante sans être exagérée; son *activité* est très-grande, et il paraît avoir donné de bons résultats, surtout par grosse mer pour réprimer les accélérations brusques lorsque la machine s'emporte à l'émersion de l'hélice; cela tient sans doute à l'augmentation subite de pression produite sous son piston, par le coup de bélier qui se fait sentir dans le tuyau de refoulement de la pompe de circulation, dans ces accélérations brusques de vitesse.

L'appareil moteur de *l'Hirondelle*, qui était à détente simple, a été transformé en machine Woolf à cylindres bout à bout, et le régulateur dont il vient d'être question a été supprimé.

Régulateur Allen à palettes. — Le régulateur à palettes système *Allen*, se compose d'un cylindre-tambour dont la face intérieure est ondulée et présente des saillies destinées à faciliter l'entraînement de ce cylindre par un liquide animé d'une grande vitesse de rotation. Ce mouvement est produit par six palettes logées dans l'intérieur du tambour et montées sur un axe qui tourne avec une vitesse d'environ 400 tours à la minute, et qui reçoit son mouvement de la machine au moyen d'une transmission par courroie. Le tambour est monté à frottement doux sur l'axe des palettes qui passe dans un presse-étoupe porté par une des parois planes de ce tambour, et pénètre d'une certaine quantité dans la paroi opposée qui lui sert de crapaudine. Le tambour a un axe propre avec lequel il fait corps, qui est le prolongement de celui des palettes et sur lequel se trouvent fixés deux leviers; l'un de ces leviers est destiné à manœuvrer la valve de la machine; l'autre, plus ou moins incliné, porte un

contre-poids de position variable, et dont l'action change avec l'inclinaison du levier qui le porte.

Dans leur mouvement de rotation, les palettes chassent un liquide, dont le tambour est en partie rempli, contre les saillies intérieures de ce tambour, et tendent ainsi à le faire tourner avec une vitesse d'autant plus grande que les molécules liquides ont plus d'adhérence et que la vitesse de rotation est plus considérable; de sorte que si le tambour n'était pas maintenu par son contre-poids, il ne tarderait pas à suivre le mouvement de rotation des palettes. — On comprend qu'en réglant convenablement la position du contre-poids sur son levier, on puisse arriver à déterminer la position du tambour pour une vitesse déterminée, de telle sorte que si la vitesse augmente ou diminue, la position du tambour change immédiatement et que son axe manœuvre la valve de la machine. Si la vitesse augmente, la force d'entraînement produite par l'action du liquide que chassent les palettes, sur les saillies intérieures du tambour, devient plus grande, et le tambour se déplace dans le sens du mouvement de rotation en manœuvrant la valve, jusqu'à ce que le bras de levier du contre-poids soit suffisamment augmenté pour rétablir l'équilibre. S'il se produit un ralentissement, la force d'entraînement diminue, l'action du contre-poids devient prépondérante, et le tambour tourne en sens contraire du mouvement de rotation en manœuvrant la valve qui ouvre de plus en plus son orifice jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau rétabli.

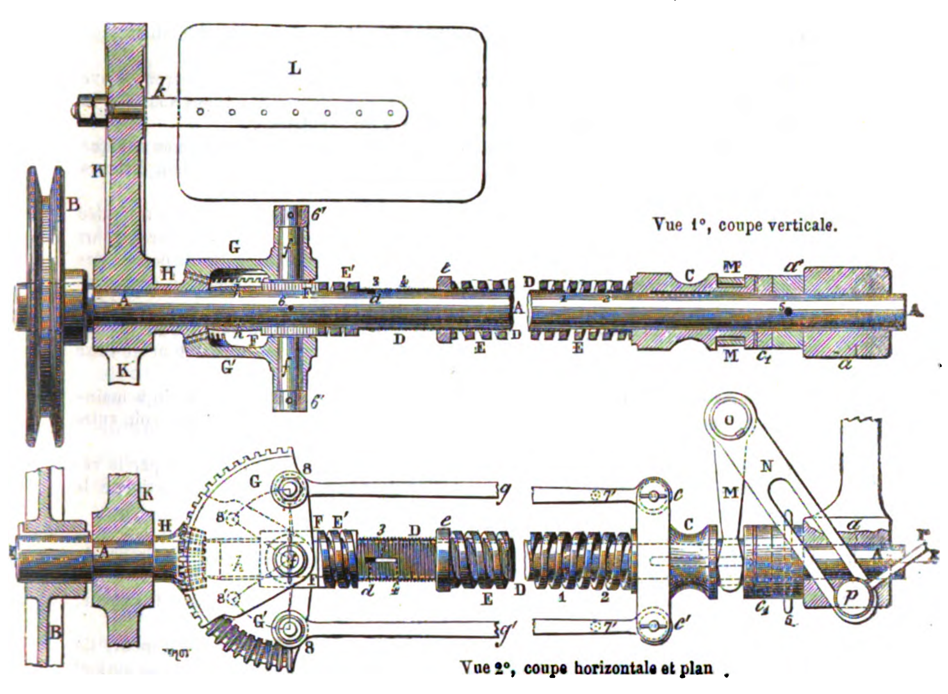
Pour les machines marines, l'action du contre-poids est remplacée par celle d'un ressort fixé à une de ses extrémités et agissant par l'autre extrémité sur le levier qui portait précédemment le contre-poids. On conçoit qu'en réglant convenablement la tension du ressort on puisse arriver à régler la valve de la machine pour une vitesse déterminée. La force d'entraînement dépend évidemment de l'adhérence des molécules du liquide employé, qui est généralement l'huile; mais il est incontestable que ce régulateur ne pourrait mouvoir la valve d'une machine puissante et offrant par suite une grande résistance, à moins de donner au tambour, et par suite aux palettes, des dimensions considérables.

Quoi qu'il en soit, ce régulateur peut avoir assez de *sensibilité*, grâce à sa vitesse considérable; mais il manque d'*activité*. Cela tient à ce que la valve est manœuvrée par la différence qui se produit entre la force d'entraînement sur le tambour et l'action du contre-poids ou du ressort qui le remplace. Comme cette action augmente ou diminue à mesure que le contre-poids change de position, il en résulte que le mouvement de la valve ne peut être entretenu que par une augmentation croissante des variations de la force d'entraînement du tambour, ce qui nécessite une variation croissante de la vitesse de rotation, même pendant que la valve est en marche.

N° 35_4. Régulateur Silver à ailettes. — Ce régulateur qui est employé sur un grand nombre de paquebots, et notamment sur le transatlantique *la France*, présente dans l'ensemble de sa construction, les dispositions primitives adoptées par M. *Silver* pour son régulateur à boules (n° 38); mais il n'est guère destiné qu'à modérer les accélérations brusques de la

vitesse dans les changements rapides d'immersion du propulseur par grosse mer. — Nous croyons utile de donner une description détaillée de ce régulateur, qui paraît avoir rendu de très-grands services. L'appareil dont il s'agit est représenté par la *fig.* 8 dont voici la légende :

Fig. 8. — *Régulateur Silver à ailettes.* — Echelle 1/12e.



A Axe du régulateur, d'une seule pièce.

a Paliers de support de l'axe du régulateur.

a' Rondelle goupillée formant collet sur l'arbre A.

B Poulie clavetée sur l'axe du régulateur et commandée par une poulie semblable montée sur l'arbre moteur. — La transmission de mouvement s'opère au moyen d'une corde à boyau semblable à une drosse de gouvernail, mais de plus petit diamètre. Cette transmission est maintenue raide au moyen d'un tendeur.

C Manchon qui manœuvre la valve. Ce manchon est mobile le long de l'axe A, mais il est entraîné dans le mouvement de rotation par une clavette longitudinale fixée à l'axe, et sur laquelle il glisse.

c, c' Bras du manchon C sur lesquels viennent s'articuler les bielles *g*, *g'*, qui manœuvrent ce manchon.

c_1 Rondelle de caoutchouc destinée à amortir le choc résultant d'un mouvement brusque du régulateur.

D Douille enfilée sur l'arbre A, et autour de laquelle s'enroulent les ressorts E, E. Cette douille est filetée extérieurement, sur une partie de sa longueur, pour recevoir l'écrou *e* qui sert à régler la tension des ressorts E, E. — Une des extrémités de la douille D s'appuie sur le ressort E'; l'autre extrémité est libre, et laisse l'axe à nu sur une longueur 1, 2, représentant la course ordinaire du manchon C.

d Ergot fixé sur l'arbre A, et au moyen duquel la douille D est entraînée dans le mou-

vement de rotation. Une petite mortaise 3, 4, pratiquée sur la douille D, permet d'ailleurs à cette douille d'avancer dans le sens de l'axe du régulateur.

E, E Ressorts du régulateur, au nombre de deux, enroulés en sens contraire l'un de l'autre pour diminuer l'effet de torsion produit aux extrémités par la compression. Ces ressorts sont emprisonnés entre le manchon C et l'écrou de réglage *e*.

e Écrou de réglage de la tension des ressorts E, E; cet écrou se visse sur la partie filetée de la douille D.

E′ Fort ressort à trois spirales de la même hélice, qui sert de point d'appui à la douille D. Ce ressort est destiné à fléchir dans les mouvements brusques du régulateur; son point d'appui est le manchon F.

F Manchon goupillé sur l'arbre A, et portant deux tourillons *f*, *f′*, qui servent d'axe d'oscillation à deux secteurs dentés G, G′. Les axes de ces tourillons sont sur la même ligne perpendiculaire à l'axe de l'arbre A du régulateur.

G, G′ Secteurs dentés montés sur les tourillons *f*, *f′*, et engrenant avec un pignon conique H, qui leur fait prendre des mouvements de rotation de sens contraires autour de leurs axes respectifs.

g, *g′* Bielles qui relient les secteurs dentés G, G′ au manchon C. La bielle *g* est articulée sur le secteur G et sur le bras *c*; la bielle *g′* est articulée, en diagonale par rapport à la première, sur le secteur G′ et sur le bras *c′*. Il résulte de cette disposion des bielles *g*, *g′*, et de cette circonstance que les secteurs G, G′ tournent en sens contraire, que les deux bielles agissent toujours dans le même sens sur le manchon C, soit pour comprimer les ressorts E, soit pour leur permettre de se détendre.

H Pignon conique engrenant avec les secteurs G, G′; ce pignon est libre autour de l'axe A; il fait corps avec le volant K.

h Douille enfilée sur l'arbre A, entre le manchon F et le pignon H, et destinée à maintenir ce dernier pignon à une distance convenable pour qu'il ne fasse pas coin entre les deux secteurs G, G′.

K Volant destiné à agir par son inertie, et portant des ailettes L qui agissent par la résistance que l'air oppose à leur mouvement de rotation. Le volant K actionne le pignon H, avec lequel il fait corps.

k Bras fixés au volant K, et sur lesquels sont montées les ailettes L.

L Ailettes régulatrices; le plan de chacune de ces ailettes passe par l'axe de l'arbre A. Le régulateur possède 6 ailettes semblables, également espacées.

M Fourchette actionnée par le manchon C, et destinée à manœuvrer la valve de vapeur. Cette fourchette oscille avec l'axe O sur lequel elle est clavetée.

N Levier de transmission de mouvement de la fourchette M à la valve de vapeur. Ce levier est claveté sur l'axe O; il porte à son extrémité un œil très-allongé qui permet de faire varier la course de la valve, ainsi qu'il est expliqué en *p*.

O Axe d'oscillation commun à la fourchette M et au levier N.

P Bielle de transmission, articulée sur le levier N.

p Articulation de position variable, de la bielle P sur le levier N. Cette articulation se fixe, au moyen d'une vis de serrage, à tel point que l'on veut de l'œil du levier N. La course de la valve est d'autant plus grande, pour le même déplacement du régulateur, que l'articulation *p* est plus éloignée de l'axe O.

1, 2 Longueur sur l'arbre mesurant l'étendue de la compression des ressorts E, E, lorsque le régulateur fonctionne pour passer de l'ouverture en grand à la fermeture complète de la valve.

3, 4 Mortaise qui permet à la douille D de glisser sur l'arbre A, en comprimant le ressort E′, et d'augmenter par suite la course de la valve à partir de sa fermeture complète, lorsqu'il se produit un mouvement brusque du régulateur. — La valve n'a pas d'arrêts, et peut aller au delà de la position où elle ferme juste le passage de la vapeur.

5 Goupille de la rondelle *a′*, fixant cette dernière sur l'arbre A pour qu'elle serve d'embase.

6 Goupille du manchon F.

6′ Goupilles et rondelles pour maintenir les secteurs G et G′ et les empêcher d'être projetés hors de leur axe pendant le mouvement de rotation.

7 et 8 Positions du pied et de la tête des bielles *g*, *g′*, lorsque la valve est ouverte en grand.

7′ et 8′ Positions du pied et de la tête des bielles *g*, *g′*, au moment de la fermeture complète de la valve, après que les ressorts E, E ont été comprimés.

Expliquons maintenant le mode de fonctionnement de ce régulateur.

Au repos, le manchon C poussé par le ressort E, E porte sur la rondelle en caoutchouc c_1; les lignes médianes des secteurs G et G′ occupent des positions obliques par rapport à l'axe, l'une sur la droite, l'autre sur la gauche, et forment un certain angle; enfin, la valve est ouverte en grand ou à peu près. Quand la machine est mise en route, ou bien lorsque la machine étant en marche on fait fonctionner le régulateur en appuyant fortement le tendeur sur la corde à boyau de sa transmission de mouvement, l'arbre A du régulateur tourne et entraîne tout le système dans son mouvement de rotation, jusques et y compris les secteurs G, G′; mais le volant K résiste par son inertie et se met un peu en retard, ce qui occasionne un déplacement angulaire de ce volant et par suite du pignon H sur l'arbre A. Le pignon H met en mouvement les secteurs G, G′ qui, tournant en sens contraire, exercent, par les bielles *g*, *g′*, un effort de traction sur le manchon C; ce dernier avance en comprimant les ressorts E jusqu'à ce que la tension de ces ressorts soit suffisante pour vaincre la résistance due à l'inertie du volant et lui donner une vitesse de rotation égale à celle de l'arbre A. A mesure que la vitesse augmente, les palettes L éprouvent de la part de l'air, une résistance de plus en plus grande qui tend encore à mettre le volant en retard, ce qui occasionne un nouveau déplacement angulaire du pignon H et des secteurs G, G′, et par suite une nouvelle augmentation de la tension des ressorts E. Enfin, quand la machine possède sa vitesse de régime, ou bien quand le régulateur a pris cette même vitesse, le manchon C laisse un certain espace libre entre lui et la rondelle en caoutchouc c_1; à ce moment, la tension des ressorts E fait seulement équilibre à la résistance de l'air sur les palettes.

S'il survient une accélération, le volant K résiste d'abord par son inertie à cet accroissement de vitesse et se met en retard sur l'arbre A; les secteurs G et G′ tournent et le manchon C avance en comprimant les ressorts E et en réduisant l'ouverture de la valve. Mais peu à peu la vitesse du volant augmente, et alors la résistance de l'air sur les palettes devient plus grande, et les ressorts E doivent être comprimés d'une plus grande quantité, ce qui correspond encore à une réduction de l'ouverture de la valve. Si l'accélération de vitesse n'est pas considérable et si, surtout, cette accélération se produit lentement, le régulateur prendra sa position d'équilibre avant que la valve soit complétement fermée, la vitesse étant naturellement supérieure à la vitesse de régime. Mais si l'accélération du mouvement est considérable et se produit brusquement, comme lors de l'émersion partielle ou totale du propulseur, la force d'inertie du volant sera d'abord considérable et la résistance des palettes dans l'air augmentant rapidement d'une grande quantité, la valve sera complétement fermée. — Il faut remarquer que cette fermeture résulte tout d'abord de la résistance développée par l'inertie du volant, et qu'elle est seulement complétée par la résistance plus grande des ailettes dans l'air. Cette fermeture de la valve amène naturellement une diminution de la vitesse de rotation, et cela précisément au moment où le volant atteint la vitesse résultant de l'accéléra-

tion qui vient de se produire. Il en résulte que l'inertie de ce volant agit en sens contraire dès que la vitesse de rotation diminue et tend à ouvrir de nouveau la valve. Le volant est d'ailleurs aidé dans ce travail, d'abord par la réaction des ressorts E, et un peu plus tard par la diminution de la résistance de l'air sur les ailettes du régulateur.

Si les mouvements de tangage sont brusques et de courte durée, comme cela se présente avec une mer debout, le régulateur n'ouvrira pas à faux la valve, parce que l'hélice aura eu le temps de s'immerger de nouveau; mais si les mouvements de tangage sont relativement lents et se produisent à de plus longs intervalles, comme cela se présente avec la mer de l'arrière, il peut se faire que cette réouverture de la valve se produise pendant que l'hélice est encore en partie émergée et qu'il en résulte une nouvelle accélération de vitesse très-dangereuse pour la sécurité de l'appareil moteur. C'est pour parer à cet inconvénient que le levier N est disposé pour permettre de faire varier la course de la valve de vapeur. Cette valve est d'ailleurs un papillon libre dans le tuyau de vapeur, c'est-à-dire n'ayant ni arrêt ni siége de portée; elle n'est par suite pas étanche, ce qui est très-avantageux, et en réglant convenablement sa course, on peut proportionner la rapidité de la fermeture à celle du tangage.

Avec la mer debout, il faut donner à la valve sa plus grande course, en portant l'articulation *p* de la bielle P à l'extrémité du levier N, afin que la fermeture soit prompte, parce que le tangage est brusque et de peu de durée. — Si la mer vient de l'arrière, il faut rapprocher l'articulation *p* de l'axe d'oscillation du levier N, quitte à ce que la machine puisse atteindre une plus grande vitesse, ce qui n'est pas dangereux, parce que le tangage est lent et qu'il en est de même des accélérations. — Si, lorsque l'articulation *p* est aussi rapprochée que possible de l'axe O, la machine s'emportait encore après coup, il faudrait allonger la transmission de mouvement de la valve, de manière à retarder un peu sa fermeture. Par contre, si avec la mer debout, l'articulation *p* étant à l'extrémité du levier N, la machine s'emportait encore lorsque le régulateur est à bloc, c'est que la fermeture de la valve ne serait pas complète, et il faudrait raccourcir les renvois de mouvement. — Ces changements de longueur des renvois de mouvement du régulateur à la valve s'effectuent très-facilement, la bielle P étant en deux parties reliées par un écrou taraudé avec deux pas de sens contraires.

Il va de soi que ce régulateur est d'autant plus *sensible* que les ressorts E sont moins tendus. La tension de ces ressorts doit être augmentée en même temps que la vitesse normale du fonctionnement de la machine; l'*activité* de ce régulateur est très-grande; il arrive même souvent, dans les accélérations brusques et surtout lorsque les ressorts E ne sont pas suffisamment tendus, que le manchon C vient butter contre la douille D. C'est alors que le ressort E' fonctionne et atténue le choc résultant de ce contact brusque. A son tour, la rondelle de caoutchouc c_1 atténue le choc résultant de l'ouverture brusque de la valve.

Ce régulateur ne maintient pas le nombre de tours constant; on ne s'en

sert même pas pour limiter la vitesse maxima de l'appareil moteur, mais il paraît rendre de grands services sur les paquebots transatlantiques, où il permet de maintenir, presque par tous les temps, une allure assez grande sans fatiguer la machine.

N° 35_8 Des diverses espèces de régulateurs à force centrifuge. — Les régulateurs à force centrifuge se divisent en deux classes : les régulateurs à action continue, isochrones ou non, et les régulateurs à action discontinue.

Les régulateurs à action continue isochrones ont pour but de maintenir la vitesse de rotation aussi constante que possible. Ils répriment tout écart de vitesse capable de déterminer leur fonctionnement et ramènent toujours la vitesse à sa valeur normale. Ces régulateurs sont attelés à la valve de vapeur et peuvent mainten cette valve dans l'une quelconque de ses positions, la vitesse étan toujours celle de régime. Il en résulte que le plus grand écart que puisse subir cette vitesse est celui qui détermine le fonctionnement du régulateur. Nous avons expliqué au n° 18_8, que les régulateurs isochrones ont une *activité* parfaite, et que dès lors, pour éviter les oscillations à longue période, toute machine pourvue d'un régulateur isochrone doit être armée d'un fort volant.

Les régulateurs à action continue non isochrones agissent progressivement sur l'organe de vapeur et diminuent les écarts de la vitesse de rotation; sans ramener cette vitesse à sa valeur de régime, ils l'empêchent de franchir des limites assignées. Le plus souvent, ces régulateurs prennent leur position d'équilibre avant que l'une ou l'autre de ces limites soit atteinte; il s'établit alors un nouveau régime qui diffère moins ou plus du régime normal, suivant que les facultés (n° 18_8) du régulateur sont plus ou moins développées. Dans un grand nombre de cas, les régulateurs à action continue non isochrones manœuvrent l'organe de détente variable, ce qui est conforme au meilleur emploi de la vapeur.

Les régulateurs à action discontinue ont seulement pour but d'imposer à la vitsse de rotation, des limites qu'elle ne puisse franchir. Ces régulateurs agissent d'une manière intermittente sur le mouvement de l'organe de vapeur; leur action ne s'exerce alors qu'aux environs des positions extrêmes des boules et cesse pour toutes les autres positions. Le plus souvent cette action est brusque, et se produit totalement au moment ou les boules arrivent à ces positions extrêmes; elle ne change de sens, et cela toujours brusquement, que

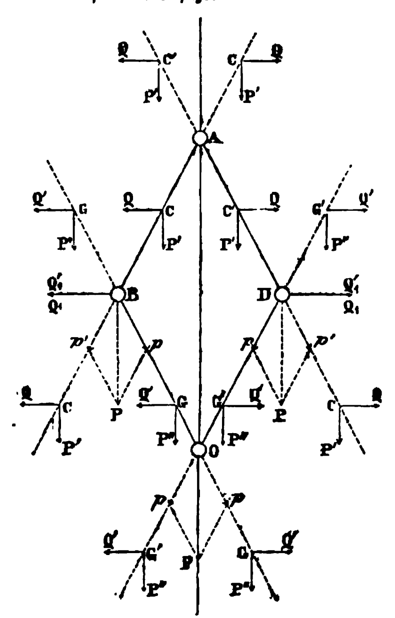
quand les boules gagnent leur position extrême opposée. Il s'ensuit que l'organe de vapeur ne se trouve jamais occuper que l'une de ses deux situations extrêmes, et qu'il s'y maintient pour toutes les valeurs de la vitesse comprise entre les deux limites assignées. Ce genre de régulateur ne peut conduire qu'une valve de vapeur, à l'exclusion de l'organe de détente.

Nous allons étudier maintenant les régulateurs à force centrifuge le plus généralement employés, en faisant ressortir leurs facultés (n° 18_8) et leur mode de fonctionnement.

N° 36. — 1. Losange articulé formant l'ossature de tous les régulateurs à force centrifuge. — 2. Théorèmes relatifs aux forces parallèles à la diagonale de l'appareil. — 3. Théorèmes relatifs aux forces normales à la diagonale de l'appareil. — 4. Force centrifuge. — Force centrifuge d'un point matériel assujetti à tourner autour d'un axe. — 5. Force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui passe par une de ses extrémités. — 6. Force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui ne passe pas par une de ses extrémités.

N° 36_1 Losange articulé formant l'ossature de tous les régulateurs à force centrifuge. — Avant d'étudier le fonctionnement des divers régulateurs à force centrifuge employés dans la marine, il est nécessaire d'exposer les principes généraux sur lesquels ce fonctionnement repose. Les régulateurs à force centrifuge comportent tous, en dernière analyse, un losange articulé ABOD, *fig.* 9, dont le sommet A est fixe sur la diagonale AO, tandis que le sommet O peut se mouvoir sur cette diagonale. Les côtés AB et AD, adjacents au sommet fixe, portent le nom de bras; les côtés BO et OD portent le nom de bielles. Sur les bras ou sur leurs prolongements et quelquefois sur les deux prolongements de chaque bras, mais en des points symétriquement placés par rapport à la diagon

Fig. 9, *relative aux forces en jeu dans les losanges articulés formant l'ossature des régulateurs à force centrifuge.*



AO, sont fixées des boules pesantes. Dans le mouvement de rotation imprimé au système par la diagonale AO, l'action de la force centrifuge tend à écarter les boules, tandis qu'une composante du poids de ces boules agit toujours en sens contraire de la force centrifuge et tend à rapprocher les boules de l'axe de rotation. Ces deux forces sont égales entre elles dans chacune des positions d'équilibre du système; mais les valeurs de ces forces, et par suite la position du sommet O sur l'axe, varient avec la vitesse de rotation. Ce sont les mouvements du sommet O qui sont utilisés pour manœuvrer la valve d'admission de vapeur.

L'axe AO est généralement vertical, et l'action de la pesanteur sur les boules agit parallèlement à cet axe; tandis que l'action de la force centrifuge se fait toujours sentir dans une direction perpendiculaire. D'un autre côté, la résistance que la valve oppose au mouvement est toujours transmise au régulateur dans la direction même de son axe. La détermination de la condition d'équilibre du régulateur soumis à l'action de ces forces repose sur les théorèmes suivants (n° $36_{2 \text{ et } 3}$).

N° 36_2 Théorèmes relatifs aux forces parallèles à la diagonale de l'appareil.

Théorème 1. Deux forces égales P, *fig.* 9, appliquées aux articulations B et D des bras avec les bielles, et agissant parallèlement à la diagonale AO, peuvent être remplacées par une force unique et égale à P, agissant directement suivant la diagonale, et réciproquement.

En effet, chacune des forces P peut être décomposée en deux autres: l'une p' agissant suivant le bras et détruite par la résistance du point fixe A; l'autre p, agissant suivant la bielle. Les deux forces p sont égales et leurs points d'application étant transportés en O, sur leur direction, ces deux forces ont une résultante agissant suivant la diagonale AO et égale à P. Cela résulte de l'égalité des losanges $Bp'Pp$, $OpPp$, $DpPp'$.

La réciproque est évidemment vraie.

Théorème 2. Deux forces égales P' appliquées en des points C et C' des bras ou de leurs prolongements et agissant parallèlement à la diagonale AO, peuvent être remplacées par une force unique agissant au point O, suivant cette diagonale, pourvu que les points C et C' soient symétriquement placés par rapport à la diagonale AO.

En effet, la force P' appliquée en C tend à faire tourner le bras autour du

point A; cette force peut être transportée en B, et en vertu du principe des leviers, elle devient :

$$P_1 = P' \times \frac{AC}{AB}.$$

De même, la force P' appliquée en C' peut être transportée en D, et sa valeur devient :

$$P'_1 = P' \times \frac{AC'}{AD}.$$

Or, ces deux forces sont égales d'après les conditions énoncées; de plus, en vertu du théorème précédent, les deux forces P'_1 peuvent être remplacées par une force unique égale à P'_1 appliquée en O, et agissant directement suivant la diagonale, Donc les deux forces P' peuvent être remplacées par la force unique P'_1 appliquée en O, et dont la valeur est :

$$P'_1 = P' \times \frac{AC}{AB}.$$

Remarque. Quand les points C et C' sont sur les bras ou sur leurs prolongements inférieurs, la force unique P'_1 agit dans le sens AO; lorsque les points C et C' sont sur les prolongements supérieurs des bras, la force P'_1 agit dans le sens OA. Dans tous les cas, la force P'_1 agit toujours dans le même sens que la force P' pour faire tourner les bras autour du point A.

Réciproquement. La force P'_1 agissant suivant la diagonale AO, peut être remplacée par deux forces égales P', parallèles à la diagonale et appliquées en des points C et C' des bras ou de leurs prolongements, pourvu que ces points soient symétriquement placés par rapport à la diagonale, et on a :

$$P' = P'_1 \times \frac{AB}{AC}.$$

Théorème 3. Deux forces égales P'', agissant parallèlement à la diagonale et appliquées en des points G et G' des bielles ou de leurs prolongements, peuvent être remplacées par une force unique agissant suivant la diagonale, pourvu que les points G et G' soient symétriquement placés par rapport à cette diagonale, et réciproquement.

1° La force P'' appliquée en G sur la bielle BO, peut être décomposée en deux autres forces parallèles à P''; l'une f appliquée en B, l'autre f' appliquée au point O, et dont les valeurs, d'après le théorème des forces parallèles sont :

$$f = P'' \times \frac{GO}{BO}; \quad f' = P'' \times \frac{BG}{BO}.$$

La force P″ appliquée en G′ sur la bielle DO peut aussi être décomposée en deux forces parallèles : l'une f appliquée en D, l'autre f' appliquée en O, et dont les valeurs sont précisément les valeurs ci-dessus. Les deux forces f appliquées, l'une en B, l'autre en D, peuvent, d'après le théorème 1, être remplacées par une force unique f appliquée en O; il y aura donc au point O la force f et les deux forces f'; ces trois forces agissent dans le même sens et leur résultante est :

$$P''_1 = P'' \times \frac{GO + 2BG}{BO}.$$

Réciproquement. La force P''_1 agissant suivant la diagonale AO, peut être remplacée par deux force égales P″, appliquées aux points G et G′ des bielles, et dont la valeur est :

$$P'' = P''_1 \times \frac{BO}{GO + 2BG}.$$

2° Si les points G et G′ sont sur les prolongements supérieurs des bielles, chacune des deux forces P″ peut être décomposée en deux autres, parallèles à P″, l'une f appliquée en B ou D, l'autre f' appliquée en O, mais en sens contraire de la première, et on a toujours :

$$f = P'' \times \frac{GO}{BO}; \quad f' = P'' \times \frac{BG}{BO}.$$

Les deux forces f appliquées en B et D étant remplacées (*théorème* 1) par une force unique f appliquée en O, il se trouve au point O deux forces de sens contraires, f et $2f'$, et leur résultante vaut :

$$P''_1 = P'' \times \frac{GO - 2BG}{BO}.$$

Remarque. La force P_1'' agit dans le sens AO, c'est-à-dire dans le même sens que P″, tant que GO est plus grand que 2BG. Lorsque GO = 2BG, c'est-à-dire lorsque le point B est le milieu de GO, la force P''_1 est nulle. Si BO est plus petit que 2BG, la force P''_1 devient négative, ce qui veut dire qu'elle change de direction et agit dans le sens OA, et par suite en sens contraire des forces P″.

Réciproquement. La force P″ agissant suivant la diagonale AO, peut être remplacée par deux forces égales P″, appliquées en des points symétriques G et G′ des prolongements supérieurs des bielles, ces forces ayant pour valeur :

$$P'' = P''_1 \times \frac{BO}{GO - 2BG}.$$

Remarque. Les forces P″ agiront dans le même sens que P''_1 tant

que GO sera plus grand que 2BG, et agiront en sens contraire si GO est plus petit que 2BG..— Si GO = 2BG, aucune force ne peut remplacer aux deux points G, la force P_1'' appliquée en O, suivant la diagonale.

3° Si les points G et G′ sont sur les prolongements inférieurs des bielles, on peut faire la même décomposition qu'en 2° ; les composantes f, appliquées en B et en D ont des directions contraires à celles des forces P″, et se réduisent à une seule, transportée en O, et dont la valeur est :

$$f = P'' \times \frac{GO}{BO}.$$

Les composantes f' appliquées en O, sont égales et ont pour valeur :

$$f' = P'' \times \frac{BG}{BO}.$$

La résultante des forces de sens contraires $2f'$ et f, agissant au point O, suivant la diagonale, vaut :

$$P_1'' = P'' \times \frac{2BG - GO}{BO}.$$

Remarque. La force P_1'' agit toujours dans le sens des forces P″.

Réciproquement. La force P_1'' agissant suivant la diagonale AO, peut être remplacée par deux forces égales entre elles, parallèles à la diagonale et appliquées aux points symétriques G et G′ des prolongements inférieurs des bielles.

La valeur de chacune de ces forces est :

$$P'' = P_1'' \times \frac{BO}{2BG - GO}.$$

Les forces P″ agissent toujours dans le même sens que la force P_1''.

N° 38_3 Théorèmes relatifs aux forces normales à la diagonale de l'appareil.

Théorème 1. Deux forces égales Q, *fig.* 9, agissant normalement à la diagonale, et appliquées en des points C et C′ des bras ou de leurs prolongements, peuvent toujours être remplacées par deux autres forces parallèles aux premières, égales entre elles, et appliquées aux articulations B et D des bras avec les bielles, pourvu que les points C et C′ soient symétriquement placés par rapport à la diagonale, et réciproquement.

En effet, la force Q, appliquée au point C, tend à faire tourner les

bras AB autour du point A ; cette force peut être transportée en B, et d'après le principe des leviers, elle aura une nouvelle valeur :

$$Q_1 = Q \times \frac{AC}{AB}.$$

De même, la force Q, appliquée en C', peut être transportée en D avec la valeur :

$$Q_1 = Q \times \frac{AC'}{AD}.$$

Or ces deux forces sont égales d'après les conditions énoncées.

Réciproquement. Deux forces égales Q_1 appliquées aux articulations B et D, et agissant normalement à la diagonale, peuvent être remplacées par deux autres forces Q égales entre elles, parallèles aux premières et appliquées aux points symétriques G et G' des bras ou de leurs prolongements. La valeur de chacune des forces Q est :

$$Q = Q_1 \times \frac{AB}{AC}.$$

Théorème 2. Deux forces égales Q' agissant normalement à la diagonale, et appliquées en des points symétriques G et G' des bielles ou de leurs prolongements, peuvent être remplacées par deux forces égales entre elles, parallèles aux premières et appliquées aux articulations B et D des bielles avec les bras, et réciproquement.

La force Q', appliquée en C, peut être décomposée en deux autres qui lui soient parallèles et appliquées, l'une Q'_1 en B, l'autre f' en O ; ces deux composantes seront de même sens si le point G est sur la bielle, et de sens contraires si le point G est sur l'un ou l'autre des prolongements de la bielle. Dans tous les cas, on aura :

$$Q'_1 = Q' \times \frac{GO}{BO}; \quad f' = Q' \times \frac{GB}{BO}.$$

La force Q', appliquée en G', peut être décomposée de la même manière en deux forces parallèles, l'une Q'_1 appliquée en D, l'autre f' appliquée en O, et dont les valeurs sont les mêmes que celles des forces Q'_1 et f' ci-dessus. Les deux forces f', qui sont toujours égales et de sens contraires, se détruisent au point O, qui ne peut suivre leur direction, et il reste les deux forces Q'_1 appliquées en B et D.

Remarque. Les forces Q'_1 agissent dans le même sens que les forces Q', lorsque les points G et G' sont sur les bielles ou sur leurs prolongements supérieurs. Tandis que les forces Q'_1 agissent en sens

contraire des forces Q′ lorsque les points G et G′ sont sur les prolongements inférieurs des bielles.

Réciproquement. Les deux forces égales Q'_1 appliquées aux points B et D, et normalement à la diagonale, peuvent être remplacées par deux forces Q′ égales entre elles, parallèles aux premières et appliquées aux points symétriques G et G′ des bielles ou de leurs prolongements. La valeur de chacune des forces Q′ est :

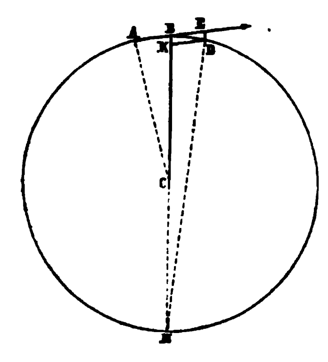
$$Q' = Q'_1 \times \frac{BO}{GO}.$$

Remarque. Les forces Q′ agiront dans le même sens que les forces Q'_1, si les points G et G′ sont choisis sur les bielles ou leurs prolongements supérieurs; tandis que les forces Q′ agiront en sens contraire des forces Q'_1, si les points G et G′ sont choisis sur les prolongements inférieurs des bielles.

Remarque générale. Les théorèmes précédents sont évidemment applicables à un système de deux triangles isocèles symétriques par rapport à une parallèle à leurs bases, et dont les déformations sont assujetties à être les mêmes, comme celles des deux moitiés du losange ABOD.

N° 36_4 Force centrifuge. — Force centrifuge d'un point matériel assujetti à tourner autour d'un axe. — En vertu de son inertie, tout point matériel A qui tourne autour d'un centre C, *fig.* 10, tend à suivre, à chaque instant, la direction de la tangente qui se confond avec le dernier élément qu'il vient de décrire sur la circonférence. Pour modifier à chaque instant la direction que le point matériel A tend à parcourir, et maintenir ce point sur la circonférence, il faut l'action d'une force. Cette force est exercée par le rayon à l'extrémité duquel le point matériel tourne, et se nomme force *centripète*. La réaction égale et contraire, exercée par l'inertie du point matériel sur le rayon qui l'attache au centre de rotation, se nomme force *centrifuge*.

Fig. 10, *relative à la force centrifuge d'un point matériel tournant autour d'un axe.*



D'une manière générale, la force centrifuge ne peut exister qu'à

l'état de réaction, car c'est le rayon qui tire sur le point matériel pour le ramener à chaque instant sur la circonférence. Toutefois, en pratique, la force centrifuge est presque seule prise en considération, parce que s'il survient la rupture du rayon qui maintenait le point matériel sur la circonférence, ce point s'écarte du centre, et fait naître l'idée d'une force de projection que l'on confond avec la véritable force en jeu, la force d'inertie suivant la tangente qui cesse d'être vaincue. — Lorsque le point matériel se meut à l'extrémité d'un rayon inextensible, la force centrifuge n'est visiblement qu'une force de réaction, quelle que soit la nature du mouvement de rotation, parce qu'il y a à chaque instant déplacement du point matériel dans le sens de la force centripète. Si le point matériel est fixé à l'extrémité d'un ressort à boudin dont la tension mesure la valeur de la force centripète, la force centrifuge n'est encore manifestement qu'une réaction si le mouvement reste uniforme, ou si la vitesse diminue, car le point matériel est toujours ramené vers le centre. Mais s'il y a augmentation de vitesse, et par suite d'inertie du point matériel, le ressort ne sera plus suffisamment tendu; il devra s'allonger pour prendre la tension correspondante à la nouvelle inertie du point matériel; et pendant ce temps ce point matériel s'écartera de l'axe. Dans ce cas, le déplacement a lieu dans le sens de la force centrifuge, et cette force peut être considérée comme une action. Mais son rôle de puissance cesse dès que l'équilibre est rétabli. Dans les régulateurs, en particulier, les boules s'écartent ou se rapprochent de l'axe de rotation suivant que la vitesse augmente ou diminue, et on est naturellement porté à attribuer ces mouvements aux variations de la force centrifuge. La considération de cette force n'a d'ailleurs aucun inconvénient en pratique.

Valeur de la force centrifuge. — Lorsqu'un point matériel de masse m tourne à l'extrémité d'un rayon R, autour d'un axe dont la vitesse angulaire est O, la force centrifuge développée a pour expression $f = mO^2R$.

En effet, soient AB et BD, *fig.* 10, deux éléments consécutifs de la circonférence, parcourus chacun, dans un temps élémentaire t, et soit V la vitesse linéaire du point matériel. Si ce point était libre après avoir parcouru l'arc AB, il ferait dans le temps t, et sur la tangente, un chemin $BE = BD = Vt$.

Si en réalité, ce point matériel se trouve en D au bout du temps élémentaire t, c'est que la force centripète l'a rappelé vers le centre et lui a

fait faire le chemin BK = ED, dans sa direction propre. Or cette force est constante et produit un mouvement uniformément accéléré; de sorte qu'en désignant par V_1 l'accélération, on a :

$$BK = \frac{1}{2}V_1t^2; \quad \text{d'où} \quad V_1 = \frac{2BK}{t^2}.$$

Le triangle rectangle BDN donne :

$$BK = \frac{\overline{BD}^2}{BN} = \frac{V^2t^2}{2R};$$

par suite :

$$V_1 = \frac{V^2}{R}.$$

Or, la force centripète f étant constante et donnant une accélération V_1 à un corps de masse m, on a :

$$f = mV_1; \quad \text{d'où} \quad f = \frac{mV^2}{R}.$$

Si O est la vitesse angulaire, c'est-à-dire la vitesse linéaire à l'unité de distance du centre, on a :

$$V = OR \quad \text{et} \quad V^2 = O^2R^2;$$

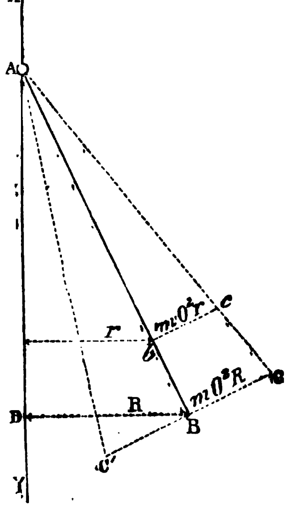
par suite :

$$f = mO^2R.$$

Cette valeur de la force centripète est aussi la valeur de la force centrifuge qui est la réaction égale et directement opposée à la force centripète.

N° 36₅ Force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui passe par une de ses extrémités.

Fig. 11, *relative à la force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui passe par une de ses extrémités.*



— La force centrifuge développée dans le mouvement de rotation d'une tige matérielle AB *fig.* 11, *d'égale épaisseur* et *homogène*, tournant autour d'un axe XY, qui passe par une de ses extrémités A, est égale à la force centrifuge développée par le tiers de la masse de cette tige, cette masse étant transportée à l'autre extrémité B. La valeur de cette force a pour expression :

$$F = \frac{1}{2}MO^2R;$$

dans laquelle :

M est la masse totale de la tige AB.
O la vitesse angulaire.
R la distance de l'extrémité B à l'axe de rotation.

En effet, la force centrifuge développée sur un point matériel de masse m pris sur la tige AB, et dont la distance à l'axe est r, a pour valeur : $f = mO^2r$.

Les forces centrifuges partielles de tous les points matériels de la tige AB sont entre elles comme les distances de ces points à l'axe. Il en résulte que si on prend normalement à AB, $BC = mO^2R$, valeur de la force centrifuge développée sur le point matériel placé à l'extrémité B, et qu'on joigne AC, la force centrifuge développée sur un point matériel quelconque b de masse m et dont la valeur est mO^2r, sera représentée par bc, également normale à AB. La force centrifuge totale développée sur la tige AB sera donc représentée par le triangle ABC, et on aura (*) :

$$F_1 = \frac{1}{2} AB \times BC.$$

Mais $BC = mO^2R$; de plus, $m \times AB = M$; donc :

$$F_1 = \frac{1}{2} MO^2R.$$

Pour trouver le point d'application de cette force, considérons que par leurs valeurs relatives et par la position de leurs points d'application, les forces centrifuges partielles sont dans les mêmes conditions que les poids des lignes matérielles parallèles à CC' et formant le triangle C'AC, dont la base $C'C = 2BC$. En vertu du principe des centres des forces parallèles, le point d'application de la résultante de toutes les forces centrifuges partielles, se confond avec le point d'application de la résultante des actions de la pesanteur sur le triangle C'AC. Or ce dernier est aux $\frac{2}{3}$ de la médiane AB et à partir du point A ; la force $F_1 = \frac{1}{2} MO^2R$ a donc aussi son point d'application aux $\frac{2}{3}$ de AB à partir du point A. Si on transporte cette force au point B, son bras de levier qui était représenté par $\frac{2}{3}$ sera représenté par 1, et on aura

$$F = \frac{1}{3} MO^2R.$$

N° 36_6 Force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui ne passe pas par une de ses extrémités. — Nous avons trois cas à considérer :

I. La tige AB *fig.* 12 ne traverse pas l'axe XY, et peut osciller autour de son extrémité A qui est à une distance fixe D de l'axe de rotation. La force centrifuge a pour valeur :

$$F = \frac{1}{6} MO^2(2R + D).$$

En effet, la force centrifuge développée sur un élément m placé à l'extré-

(*) Il est évident que BC et bc ne sont pas rigoureusement des lignes, mais bien de toutes petites bandes dont la largeur est égale à celle du point matériel m.



mité B et distant de l'axe de la quantité R, a pour valeur $f = m\mathrm{O}^2\mathrm{R}$. — Menons CBC′ perpendiculaire à AB; portons $\mathrm{BC} = \mathrm{BC'} = \frac{1}{2}m\mathrm{O}^2\mathrm{R}$, et joignons les points C et C′ au point de rencontre *o* du prolongement de BA avec l'axe XY. Toute perpendiculaire à AB limitée aux côtés *c*C, *c′*C′ du trapèze C*cc′*C′, représentera la force centrifuge développée sur l'élément de AB par lequel passera cette perpendiculaire. — La somme des forces centrifuges partielles qui se manifestent sur tous les éléments de AB, sera par suite représentée par la surface du trapèze C*cc′*C′, et l'on aura :

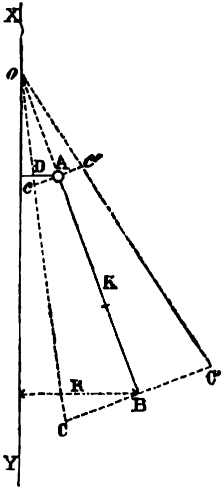


Fig. 12, *relative à la force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui ne passe pas par une de ses extrémités.* — 1er cas.

$$\mathrm{F}_1 = \frac{m\mathrm{O}^2\mathrm{D} + m\mathrm{O}^2\mathrm{R}}{2} \times \mathrm{AB}.$$

Et en remarquant que $m \times \mathrm{AB} = \mathrm{M}$, il vient :

$$\mathrm{F}_1 = \mathrm{MO}^2 \times \frac{\mathrm{D} + \mathrm{R}}{2}.$$

D'autre part, les actions centrifuges partielles qui agissent sur AB, sont comparables, quant à leurs grandeurs relatives et aux positions de leurs points d'application, aux actions de la pesanteur sur le trapèze C*cc′*C′. Le centre de gravité K du trapèze est par suite le point d'application de la force F_1. Il en résulte que si nous transportons cette force F_1 à l'extrémité B, le point fixe étant en A, il vient :

$$\mathrm{F} = \mathrm{F}_1 \times \frac{\mathrm{AK}}{\mathrm{AB}} = \mathrm{MO}^2\frac{\mathrm{D} + \mathrm{R}}{2} \times \frac{\mathrm{AK}}{\mathrm{AB}}.$$

Mais on sait que

$$\frac{\mathrm{AK}}{\mathrm{KB}} = \frac{2\mathrm{CC'} + cc'}{2cc' + \mathrm{CC'}} = \frac{2m\mathrm{O}^2\mathrm{R} + m\mathrm{O}^2\mathrm{D}}{2m\mathrm{O}^2\mathrm{D} + m\mathrm{O}^2\mathrm{R}} = \frac{2\mathrm{R} + \mathrm{D}}{2\mathrm{D} + \mathrm{R}};$$

d'où, par un théorème connu des proportions:

$$\frac{\mathrm{AK}}{\mathrm{AB}} = \frac{2\mathrm{R} + \mathrm{D}}{3\mathrm{R} + 3\mathrm{D}}.$$

Remplaçons dans la valeur ci-dessus de F, il vient:

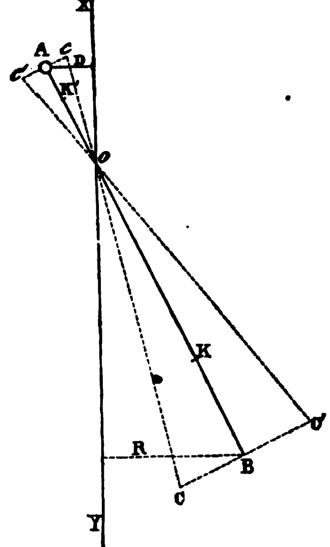
$$\mathrm{F} = \tfrac{1}{6}\mathrm{MO}^2(2\mathrm{R} + \mathrm{D}). \qquad (1)$$

II. La tige AB *fig.* 13 traverse l'axe XY, et peut osciller autour de son extrémité A, qui est à une distance fixe D de l'axe de rotation. La force centrifuge a pour valeur :

$$\mathrm{F} = \tfrac{1}{6}\mathrm{MO}^2(2\mathrm{R} - \mathrm{D}).$$

En effet, la force centrifuge f développée sur OB, tend à écarter l'extrémité B de l'axe de rotation, tandis que la force centrifuge f' développée sur OA, tend à rapprocher cette extrémité B de l'axe. Or, d'après le n° 36_3, on a :

Fig. 13, *relative à la force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui ne passe pas par une de ses extrémités. — 2e cas.*



$$f = \tfrac{1}{2} m \times oB \times O^2R.$$

Cette force est appliquée en un point K tel que $oK = \frac{2oB}{3}$, et le point fixe étant en A, son bras de levier vaut $oA + \frac{2oB}{3} = \frac{3oA + 2oB}{3}$. Transportons cette force à l'extrémite du levier AB; elle prend une valeur :

$$(a) \qquad f_1 = \tfrac{1}{2} m \times oB \times O^2 R \times \frac{3oA + 2oB}{3AB}.$$

D'après le même n° 36_3, on a :

$$f' = \tfrac{1}{2} m \times oA \times O^2D.$$

Cette force est appliquée en un point K' tel que $oK' = \frac{2oA}{3}$. Le point fixe étant en A, le bras de levier de cette force est $\frac{oA}{3}$; et si nous la transportons à l'extrémité du levier AB, elle prendra une nouvelle valeur :

$$(b) \qquad f'_1 = \tfrac{1}{2} m \times oA \times O^2D \times \frac{oA}{3AB}.$$

Faisons la somme algébrique des forces f_1 et f'_1, en remarquant qu cette dernière agit en sens contraire de la première, il vient :

$$F = f_1 - f'_1 = \tfrac{1}{2} mO^2 \left(oB \times R \times \frac{3oA + 2oB}{3AB} - oA \times D \times \frac{oA}{3AB} \right).$$

Or,

$$\frac{oA}{oB} = \frac{D}{R}; \quad \text{d'où} \quad \frac{oA + oB}{oA \text{ ou } oB} = \frac{D + R}{D \text{ ou } R}.$$

Et comme $oA + oB = AB$, il vient :

$$oA = \frac{AB \times D}{D + R}, \quad \text{et} \quad oB = \frac{AB \times R}{D + R}.$$

Portons ces valeurs dans la parenthèse de l'expression ci-dessus de F nous aurons :

$$F = \tfrac{1}{2} mO^2 \left[AB \times \frac{R^2}{(D + R)} \times \frac{3D + 2R}{3(D + R)} - AB \times \frac{D^3}{3(D + R)^2} \right];$$

ou bien :

$$F = \frac{1}{6} m O^2 \times \frac{2R^3 + 3DR^2 - D^3}{(D+R)^2} \times AB.$$

Or $m \times AB = M$. D'autre part, la fraction vaut $(2R - D)$, par suite :

$$(2) \qquad F = \frac{1}{6} MO^2 (2R - D).$$

III. Si la tige AB *fig.* 14 traverse l'axe XY, mais oscille autour du point fixe C situé sur sa longueur, le problème renferme les deux cas précédents et la force centrifuge a pour valeur :

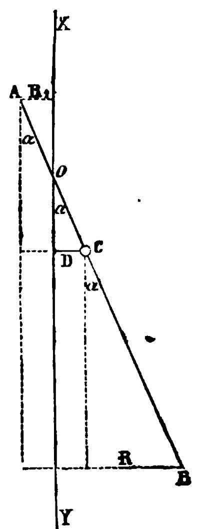


Fig. 14, relative à la force centrifuge se manifestant sur une tige matérielle tournant autour d'un axe qui ne passe pas par une de ses extrémités. — 3° cas.

$$F = \frac{1}{6} MO^2 \times \frac{2(R^3 + R_1^3) - 3D(R^2 - R_1^2)}{(R + R_1)(R - D)}.$$

En effet, la force centrifuge f développée sur la partie CB et appliquée en B, tend à écarter le point B de l'axe et a pour valeur, d'après l'égalité (1) ci-dessus:

$$f = \frac{1}{6} m \times CB \times O^2 (2R + D).$$

La force centrifuge f' développée sur la partie CA, et appliquée en A, tend à écarter le point A, et par suite aussi le point B de l'axe de rotation. Or, d'après l'égalité (2) ci-dessus, cette force a pour valeur :

$$f' = \frac{1}{6} m \times CA \times O^2 (2R_1 - D).$$

Transportons cette force au point B, à l'extrémité du levier CB; elle prendra une nouvelle valeur :

$$f_1' = \frac{1}{6} m \times CA \times O^2 (2R_1 - D) \times \frac{CA}{CB}.$$

Les deux forces f et f_1' ont pour résultante :

$$F = f + f_1' = \frac{1}{6} m \times O^2 \left[CB(2R + D) + \frac{CA^2}{CB}(2R_1 - D) \right].$$

Or, en désignant par α l'angle d'inclinaison de la barre AB sur l'axe, on a :

$$CB = \frac{R - D}{\sin \alpha}; \quad CA = \frac{R_1 + D}{\sin \alpha}.$$

Et comme $\sin \alpha = \frac{R + R_1}{AB}$, il vient :

$$CB = AB \times \frac{R - D}{R + R_1}; \quad CA = AB \times \frac{R_1 + D}{R + R_1}.$$

Remplaçons dans la valeur de F ci-dessus, en remarquant que AB est facteur commun, et que $m \times AB = M$; il vient :

$$F = \frac{1}{6} M\Omega^2 \left[\frac{(R-D)^2(2R+D)+(D+R_1)^2(2R_1-D)}{(R+R_1)(R-D)}\right].$$

e qui peut se mettre sous la forme :

$$(3) \qquad F = \frac{1}{6} M\Omega^2 \times \frac{2(R^3+R_1^3)-3D(R^2-R_1^2)}{(R+R_1)(R-D)}.$$

Les relations (1), (2) et (3) permettront de tenir compte quand il y aura lieu, de la valeur de la force centrifuge développée sur les systèmes articulés que comportent forcément les régulateurs. En pratique, cette force est négligeable vis-à-vis de celle qui se développe sur les boules; mais nous avons tenu à donner son expression pour être complet. Les relations ci-dessus peuvent d'ailleurs servir à apprécier l'influence des systèmes articulés sur le fonctionnement des régulateurs établis en tenant compte seulement des poids des boules. Nous en donnerons un exemple sur le régulateur *Rolland* ($n^o\ 40_2$).

N° 37. — 1. Étude du régulateur de Watt : subordination à l'action de la pesanteur et non-isochronisme de l'instrument. — 2. Son mode de fonctionnement ; sensibilité ; activité. — 3. Détermination de ses éléments. — 4. Conclusions pour son emploi.

N° 37_1 Étude du régulateur de Watt : subordination à l'action de la pesanteur et non-isochronisme de l'instrument. — Quoique le régulateur de Watt ne soit pas applicable aux machines marines, il est intéressant d'étudier son fonctionnement parce que c'est de cet instrument que sont dérivés les régulateurs en usage. On se rendra ainsi plus facilement compte des transformations qu'on a dû lui faire subir pour en faire un régulateur du nombre de tours. Représentons par (*fig.* 18, *pl.* V.) : Fig. 18, Pl. V.

P Le poids d'une des boules.
g l'accélération de la chute des graves.
L La distance AC du centre de gravité d'une boule à l'axe d'oscillation du bras.
La longueur AB du bras.
D La distance de l'axe d'oscillation des bras à l'axe de rotation.
α L'angle d'inclinaison moyenne du bras sur l'axe.
a La quantité dont l'angle α augmente ou diminue pour que le bras prenne l'une ou l'autre de ses deux positions extrêmes.
h La distance verticale du centre de gravité des boules à l'articulation du bras avec le manchon fixe, et dont la valeur est $L \cos \alpha$.
Ω La vitesse angulaire du régulateur.

K L'écart proportionnel de vitesse, c'est-à-dire la fraction maximum de sa valeur dont la vitesse de régime peut varier, soit pendant l'accélération, soit pendant le ralentissement.

k Une variation de vitesse capable de déterminer le fonctionnement du régulateur, de telle sorte que la vitesse O peut devenir $O(1 \pm k)$ au moment où le régulateur met la valve en mouvement.

Q La résistance que la valve oppose au mouvement du manchon mobile du régulateur, cette résistance étant mesurée suivant l'axe de ce régulateur.

F La force centrifuge développée sur chaque boule.

La force centrifuge développée sur chaque boule et qui tend constamment à l'écarter de l'axe de rotation, a pour valeur :

$$F = \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha).$$

L'action P de la pesanteur qui agit au centre de chaque boule, a une composante $p = P \tang \alpha$, qui agit en sens contraire de la force centrifuge et tend à ramener la boule vers l'axe de rotation, et une composante p', agissant dans la direction du bras et détruite par la résistance du point fixe A. Les deux composantes p agissent dans le même sens pour ramener les boules vers l'axe, et leur valeur varie avec $\tang \alpha$; cette valeur augmente ou diminue suivant que les boules s'écartent ou se rapprochent de l'axe de rotation. Dans tous les cas, pour que le régulateur soit en équilibre sous l'action des forces F et p, il faut que la résultante de ces forces soit nulle, et que par suite ces forces soient égales. Ainsi, non-seulement le régulateur de Watt n'est pas indifférent à l'action de la pesanteur, puisque c'est la seule force qui soit opposée à l'action de la force centrifuge, mais l'action de la pesanteur varie avec la position des boules. — Lorsque l'équilibre existe, on a :

$$\frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha) = P \tang \alpha,$$

ce qui se réduit à :

$$O^2\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha = g;$$

d'où :

$$O^2 = \frac{g}{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

Pour que le régulateur fût isochrone, c'est-à-dire pour que O fût constant malgré les variations de l'angle α, il faudrait que :

$$\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha = \text{constante};$$

or, lorsque α augmente, $\sin \alpha$ augmente aussi, et la fraction $\frac{D}{\sin \alpha}$ diminue; et comme $\cos \alpha$ diminue aussi, il en résulte une augmentation de O_1. Si l'angle α diminue, $\frac{D}{\sin \alpha}$ augmente, et comme $\cos \alpha$ augmente aussi, O_1 diminue. L'isochronisme ne peut donc exister.

Si on fait D égal à zéro, c'est-à-dire si on reporte l'axe d'oscillation des bras sur l'axe du régulateur, la valeur de O^2 se réduit à :

$$O^2 = \frac{g}{L\cos\alpha} = \frac{g}{h}.$$

Et l'isochronisme pourrait être établi si h avait une valeur constante, ce qui exigerait que le centre de la boule fût assujetti à suivre un arc de parabole dont h serait la sous-normale. Cette sous-normale aurait pour valeur :

$$h = \frac{g}{O^2};$$

ce qui montre que si les boules se mouvaient sur un arc de parabole, le régulateur ne serait isochrone que pour la vitesse déterminée O ; en dessus et en dessous de cette vitesse, l'isochronisme ne saurait exister, et il ne serait pas possible de faire fonctionner la machine à diverses allures.

N° 37_2 Son mode de fonctionnement; sensibilité; activité. — Supposons que les boules soient en équilibre dans leur position moyenne d'oscillation, et qu'il se produise une variation k de la vitesse O de régime, de telle sorte que la vitesse réelle soit $O \pm Ok = O\,(1 \pm k)$, au moment où le régulateur a développé la force capable de manœuvrer la valve. La force centrifuge aura pour valeur :

$$F = \frac{P}{g}\,O^2(1 \pm k)^2(D + L\sin\alpha);$$

le signe + servant pour l'accélération, et le signe — pour le ralentissement.

La résistance Q de la valve, mesurée suivant l'axe du régulateur, peut être remplacée par deux forces égales à $Q\,\frac{l}{L}$ appliquées aux centres des boules (n° 36_2, théorème 2) ; cette force s'ajoute au poids P lors d'une accélération et se retranche de ce poids lors d'un ralentissement ; de sorte que dans le sens vertical, il existe au centre de chaque boule une force :

$$P \pm Q\,\frac{l}{L} = \frac{PL \pm Ql}{L},$$

dont l'action doit faire équilibre à la force centrifuge, juste au moment où la valve commence son mouvement. On a donc :

$$\frac{P}{g}\,O^2(1 \pm k)^2(D + L\sin\alpha) = \frac{PL \pm Ql}{L}\tang\alpha.$$

De là on tire :

$$(1) \qquad (1 \pm k)^2 = \frac{PL \pm Ql}{\frac{P}{g} O^2 L \left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

Lors d'une accélération, sin α augmente et cos α diminue; la valeur de $(1 + k)^2$ augmente, et par suite k doit devenir plus grand dès que la valve est mise en mouvement. — Lors d'un ralentissement, sin α diminue et cos α augmente; la valeur de $(1 - k)^2$ diminue, et par suite k doit augmenter pendant que le régulateur maintient la valve en marche.

Dans les deux cas, la variation de vitesse doit continuer d'augmenter pour maintenir la valve en marche, et il en résulte que ce régulateur peut être assez sensible, mais qu'il manque d'activité. En pratique l'inertie de la valve fait que la résistance de cet organe est plus grande au départ que quand elle est en mouvement; par suite la variation k de la vitesse atteindra, avant le déplacement de la valve, une valeur qui se trouvera un peu trop grande dès que la valve sera ébranlée; il en résultera que la valeur de cette variation n'aura pas besoin d'augmenter beaucoup pour maintenir la valve en marche. De ce fait, la sensibilité du régulateur sera diminuée et son activité sera augmentée; toutefois, l'écart total de la vitesse restera le même. D'un autre côté, il y a lieu de considérer que lorsque les boules s'écartent de l'axe du régulateur, ce dernier doit développer, en sus de l'effort nécessaire pour manœuvrer la valve, une force capable d'élever le centre de gravité de tout le système; tandis que cette même force qui prend naissance dans la descente des boules, lors d'un ralentissement, s'ajoute à l'action du régulateur pour manœuvrer la valve. Il résulte de cette observation que le régulateur a plus d'activité pour limiter un écart qui provient d'un ralentissement que pour limiter un écart de même valeur qui provient d'une accélération de la vitesse. — Il ne faut pas oublier d'ailleurs, que la résistance de la valve augmente à mesure que la section démasquée par cet organe diminue, de sorte que l'irrégularité de fonctionnement provenant du travail de la pesanteur sur les boules est en partie atténuée.

Quoi qu'il en soit, le régulateur de Watt ne saurait maintenir un nombre de tours constant; il faut en effet, qu'il se produise une variation croissante de la vitesse pour que la valve puisse être

maintenue en marche; de plus, dès que le passage de la vapeur est en rapport avec la nouvelle vitesse de rotation, le régulateur prend sa position d'équilibre. Or, si une nouvelle variation de vitesse se produit dans le même sens, la valve sera manœuvrée de nouveau dans le même sens, et le régulateur prendra une autre position d'équilibre en rapport avec la nouvelle vitesse; et ainsi de suite, jusqu'à ce que la valve soit ou complétement fermée ou ouverte en grand. Le régulateur de Watt sert donc à modérer les variations de la vitesse en ouvrant de plus en plus la valve à mesure que le mouvement se ralentit, ou en la fermant de plus en plus à mesure que le mouvement s'accélère; il limite les écarts maxima de la vitesse par la fermeture complète ou par l'ouverture en grand de la valve ; mais il n'a aucune tendance à ramener la vitesse à une valeur constante.

N° 37_3 Détermination de ses éléments. — La vitesse maxima que peut prendre la machine, quel que soit d'ailleurs l'excès du travail moteur sur le travail résistant, est nécessairement celle qui donne au régulateur la position où il ferme complétement la valve. La vitesse minima à laquelle la machine peut descendre, est celle qui donne au régulateur la position où il ouvre la valve en grand, pourvu toutefois que, dans cette position de la valve, le travail moteur soit au moins égal au travail résistant. D'après ce qui a été dit au numéro précédent, il y a avantage à réduire au strict nécessaire l'amplitude de l'oscillation des boules, et à régler leur position moyenne pour que le travail de la pesanteur soit aussi petit que possible. D'un autre côté, il ne faut pas trop écarter le centre d'oscillation des bras de l'axe de rotation. Pour les rapports adoptés dans la pratique, on peut prendre ceux de la *fig.* 5, *pl.* XIII du *Traité des appareils à vapeur de navigation*, et construire l'épure du régulateur. Il ne restera plus à déterminer que la vitesse de régime du régulateur et le poids de ses boules.

En nous reportant à la signification que nous avons donnée aux lettres dans le n° 37_1 et en attribuant à K la valeur de l'écart proportionnel de vitesse, c'est-à-dire la plus grande variation de la vitesse de régime sous l'influence de laquelle la valve doit être ouverte en grand, ou complétement fermée, on a pour condition d'équilibre, dans ces positions extrêmes du régulateur :

$$\frac{P}{g}O^2(1 \pm K)^2 [D + L \sin(\alpha \pm a)] = \frac{PL \pm Ql}{L} \operatorname{tang}(\alpha \pm a).$$

Les signes + servent pour la fermeture complète de la valve et les signes — pour son ouverture en grand.

De là on tire :

$$P = \frac{Ql}{L} \times \frac{\pm g}{O^2(1 \pm K)^2 \left(\frac{D}{\sin(\alpha \pm a)} + L\right) \cos(\alpha \pm a) - g}.$$

On voit immédiatement que toutes les valeurs qu'on pourrait donner à O ne conviennent pas au fonctionnement du régulateur, car le dénominateur de la deuxième fraction doit être positif si on prend les signes + et négatif si on prend les signes —. D'après le n° 37_1, la valeur de la vitesse angulaire de régime du régulateur est telle que :

$$O^2 = \frac{g}{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

En portant cette valeur de O^2 dans l'équation ci-dessus et, en remarquant qu'en raison des variations de la résistance de la valve, il convient de calculer la valeur de P pour le cas d'une accélération, on aura, toutes simplifications faites :

$$P = \frac{Ql}{L} \times \frac{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}{(1 + K)^2 \left(\frac{D}{\sin(\alpha + a)} + L\right) \cos(\alpha + a) - \left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

Dans le cas où on voudrait faire D égal à zéro, c'est-à-dire porter l'axe d'oscillation des bras sur l'axe de rotation, on aurait :

$$P = Q \frac{l}{L} \times \frac{\cos \alpha}{(1 + K)^2 \cos(\alpha + a) - \cos \alpha}.$$

En développant $\cos(\alpha + a)$, et en divisant les deux termes par $\cos \alpha$, l'égalité ci-dessus devient :

$$P = Q \frac{l}{L} \times \frac{1}{(1 + K)^2 (\cos a - \sin a \tang \alpha) - 1}.$$

Sous cette forme, on voit bien que P augmente en même temps que l'angle α, et qu'il y a avantage à ne donner à cet angle α que la valeur strictement nécessaire à la liberté de mouvement des boules.

La transmission de mouvement de la machine au régulateur devra être déterminée pour qu'au nombre de tours de régime de la machine, le régulateur ait la vitesse O. En désignant par N le nombre de tours par minute du régulateur, on a :

$$\frac{2\pi N}{60} = O, \quad \text{d'où} \quad N = \frac{O \times 60}{2\pi}.$$

La valeur de P étant déterminée, l'égalité (1) du n° 37_2 donne le moyen de calculer la valeur de la variation k de la vitesse de régime sous l'in-

fluence de laquelle le régulateur sera mis en mouvement. Cette égalité donne, en négligeant le terme k^2 qui est assez petit :

$$2k = \frac{PL + Ql}{\frac{P}{g} \Omega^2 L \left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha} - 1.$$

Pour que le régulateur ne fonctionne pas sous l'influence des variations périodiques de la vitesse qui se produisent pendant la durée d'un tour (n° 18_6), il faut donner au volant de la machine, une puissance capable de limiter ces variations à un écart total moindre que la valeur de k déterminée ci-dessus.

N° 37_4 Conclusions pour son emploi. — Le régulateur de Watt est applicable aux machines fixes qui fonctionnent toujours sensiblement à la même allure, et peut, lorsqu'il est bien construit, maintenir la vitesse dans des limites assez étroites à la condition que la machine soit armée d'un fort volant. S'il fallait conserver à la machine un mouvement aussi uniforme que possible, le régulateur de Watt serait insuffisant, parce que, tout en limitant les écarts de la vitesse de régime et en modérant la rapidité des variations qui se produisent, cet instrument n'a aucune tendance à ramener la vitesse à sa valeur normale.

Enfin, ce régulateur ne pouvant être réglé pour un régime déterminé, ne saurait être appliqué aux machines marines qui doivent pouvoir fonctionner à des allures très-différentes. D'un autre côté, sa subordination à l'action de la pesanteur, sa grande sensibilité et son manque d'activité le font exclure, même pour limiter la vitesse maxima que la machine pourra prendre par gros temps, par suite de l'émersion de l'hélice.

N° 38. — 1. Description du régulateur marin Silver à force centrifuge et à action continue. — 2. Indifférence à l'action de la pesanteur et non-isochronisme de l'instrument. — 3. Son mode de fonctionnement; sensibilité; activité. — 4. Détermination de ses éléments. — 5. Conclusions pour son emploi.

N° 38_1 Description du régulateur marin Silver à force centrifuge et à action continue. — Le régulateur *Silver* fonctionne en utilisant, pour manœuvrer la valve, la force d'inertie développée sur les boules, et dans leur plan de rotation, toutes les fois que la vitesse change. Quand le régulateur est en équilibre, la force centrifuge des boules est détruite par l'action d'un

ressort dont la tension varie avec cette force centrifuge. La *figure* 19, *pl.* V représente un modèle de ce régulateur. Voici la légende de cette figure :

Fig. 19, Pl. V.

AA′ Arbre principal du régulateur, en deux parties. Cet arbre est placé horizontalement sur deux paliers H, entre lesquels il est maintenu par deux collets intérieurs que portent ses extrémités. La partie A, qui est la plus longue, porte vers le milieu de sa longueur, une large mortaise pour recevoir les bras du régulateur. La partie A′ possède un fort tenon cylindrique qui s'engage à frottement doux dans la partie A, de sorte que les axes des deux tronçons de l'arbre du régulateur sont dans le prolongement l'un de l'autre, et cet arbre est supporté par les paliers H comme s'il était d'une seule pièce.

a Arbre auxiliaire de la transmission de mouvement de la machine au régulateur.

B Boules du régulateur, au nombre de quatre, dont les poids se font équilibre deux à deux autour de l'axe d'oscillation des bras.

b Bras du régulateur; ces bras ont même longueur.

b′ Prolongements supérieurs des bras; chaque bras et son prolongement sont de même longueur et d'une seule pièce.

b_2 Bielles du régulateur; ces bielles sont doubles, et les deux parties sont suffisamment écartées pour embrasser le bras correspondant du régulateur. Les articulations inférieures sont sur la partie *m* du manchon d'entraînement, à une assez grande distance de l'axe de rotation; les articulations supérieures sont sur des leviers b'_1 implantés sur les bras.

b'_1 Leviers fixés aux bras et portant à leurs extrémités les articulations supérieures des bielles. Dans la position de repos, la valve ouverte en grand, les centres de ces articulations sont dans le plan perpendiculaire à l'arbre A, qui passe par le centre d'oscillation des bras.

C, C′ Deux secteurs dentés dont les plans sont parallèles entre eux et à l'axe de l'arbre A. Ces secteurs ont un axe de rotation commun implanté sur l'arbre A, perpendiculairement à son axe, le secteur C étant d'un côté de l'arbre A et le secteur C′ du côté opposé.

C_1 Pignon d'angle monté sur l'arbre A′ et qui engrène avec les secteurs dentés C, C′. Le mouvement du pignon C_1 imprime aux secteurs dentés des mouvements de rotation de sens contraires.

c, c′ Bielles qui relient les secteurs dentés C, C′ au manchon d'entraînement du régulateur. A cause des mouvements de sens contraires des deux secteurs dentés C et C′, ces deux bielles tirent ou poussent en même temps le manchon d'entraînement M.

D Bâti du régulateur, sur lequel sont montés les paliers H.

E Ressort dont l'action doit faire équilibre à la force centrifuge. Ce ressort est enroulé sur l'arbre A, et est fixé sur cet arbre en *e*; il est de plus fixé par son autre extrémité, en *m*, sur le manchon d'entraînement du régulateur. C'est par l'intermédiaire du ressort E que l'arbre A est entraîné dans le mouvement de rotation que la partie A′ de l'axe du régulateur reçoit de la machine. A la mise en marche, le régulateur étant immobile, le pignon C_1 fait tourner les secteurs C, C′, dont les bielles tirent sur le manchon d'entraînement, qui avance en comprimant le ressort E. Lorsque la tension de ce ressort est suffisante, l'arbre A est entraîné.

e Petit collet de l'arbre A′ sur lequel est fixé le ressort E, et qui sert en même temps de butoir à ce ressort.

H Paliers qui supportent l'arbre du régulateur.

L, L′ Leviers par l'intermédiaire desquels le manchon d'entraînement manœuvre la valve.

M Manchon d'entraînement du régulateur. Ce manchon glisse sur l'arbre A quand le ressort E change de tension, mais il est entraîné dans le mouvement de rotation par une clavette fixée sur l'arbre A, et dont les extrémités s'engagent dans deux rainures rectangulaires de ce manchon.

O Axe d'oscillation des bras du régulateur; cet axe est perpendiculaire à l'arbre A, qu'il traverse en passant dans la mortaise de cet arbre qui reçoit les bras.

O′ Axe des secteurs dentés C et C′. Cet axe O′ est perpendiculaire au plan de l'axe de l'arbre A et de l'axe O d'oscillation des bras; il est d'ailleurs porté aussi par l'arbre A.

R, r Engrenage droit de la transmission de mouvement de la machine au régulateur.

r′ Poulie qui reçoit un cordon capelé d'autre part sur l'arbre de la machine, et qui fait tourner l'arbre auxiliaire *a*.

N° 38_2 Indifférence à l'action de la pesanteur et non isochronisme de l'instrument. — Ce régulateur est indifférent à l'action de la pesanteur, puisque le centre de gravité du système formé par les quatre boules occupe une position fixe et se confond avec l'articulation des bras sur l'axe de rotation. C'est l'action du ressort E qui doit équilibrer la force centrifuge, dans toutes les positions que peuvent prendre les boules; mais là ne se bornent pas les fonctions de ce ressort : c'est par son intermédiaire que la partie A de l'arbre et le régulateur sont entraînés dans le mouvement de rotation que la partie A′ de l'arbre reçoit directement de la machine. Lorsque le régime est établi et que toutes les parties du régulateur possèdent la même vitesse angulaire, le ressort E ne doit vaincre que la force centrifuge augmentée de la résistance de l'air au mouvement des boules et du frottement sur les portées.

Désignons par (*fig.* 20, *pl.* V) : Fig. 20, Pl. V.

P Le poids d'une boule.

g L'accélération de la chute des graves.

L La longueur totale AC du bras.

l La distance invariable BC.

α L'angle d'inclinaison minimum des bras sur l'axe.

a La quantité dont l'angle α est augmenté quand le régulateur prend sa position d'équilibre à la vitesse de régime.

β L'angle d'inclinaison (variable) des bielles sur l'axe.

O La vitesse angulaire.

E La tension du ressort qui correspond à la position d'équilibre du régulateur.

La force centrifuge, développée sur les deux boules du même bras du régulateur et considérée au centre d'une des boules, est :

$$F = \frac{2P}{g} O^2 L \sin(\alpha + a).$$

Cette force peut être décomposée en deux, l'une dirigée suivant le bras et détruite par la résistance du point fixe C, l'autre normale au bras et ayant pour valeur :

$$F' = F\cos(\alpha + a) = \frac{2P}{g} O^2 L \sin(\alpha + a)\cos(\alpha + a);$$

d'où :

$$F' = \frac{P}{g} O^2 L \sin 2(\alpha + a).$$

Ce qui montre déjà que pour une vitesse donnée, la force qui tend à faire tourner le bras autour de l'axe d'oscillation C, est maximum lorsque $(\alpha + a) = 45°$, car alors $\sin 2(\alpha + a) = 1$.

La force F′ peut être transportée à l'extrémité du rayon l, avec une valeur :

$$F'' = F' \frac{L}{l} = \frac{P}{gl} O^2 L^2 \sin 2(\alpha + a).$$

La tension E du ressort, peut se décomposer en deux forces égales E′, agissant suivant les bielles et ayant pour valeur $E' = \frac{E}{2 \cos \beta}$. Chacune des forces E′ peut se décomposer en deux autres : l'une suivant le rayon BC est détruite par la résistance du centre d'oscillation ; l'autre E″, normale à ce rayon et agissant en sens contraire de la force F″. Or, dans la position qu'occupe le régulateur quand la valve est ouverte en grand, le rayon BC est normal à l'axe de rotation ; on a donc, pour une position quelconque du régulateur :

$$E'' = E' \cos(\beta + a) = \frac{E \cos(\beta + a)}{2 \cos \beta}.$$

Il y aura équilibre lorsque les deux forces F″ et E″ seront égales ; par suite :

$$\frac{P}{g} O^2 \frac{L^2}{l} \sin 2(\alpha + a) = \frac{E \cos(\beta + a)}{2 \cos \beta};$$

ou :

$$(1) \qquad \frac{2P}{g} O^2 \frac{L^2}{l} = E \times \frac{\cos(\beta + a)}{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}.$$

Si le régulateur était isochrone, le premier membre de l'égalité serait une constante $\mathbf{C}$, et on aurait :

$$E = \mathbf{C} \times \frac{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}{\cos(\beta + a)}.$$

Pour une nouvelle position d'équilibre, on trouverait :

$$E' = \mathbf{C} \times \frac{\sin 2(\alpha + a') \cos \beta'}{\cos(\beta' + a')};$$

d'où :

$$E' - E = \mathbf{C} \left(\frac{\sin 2(\alpha + a') \cos \beta'}{\cos(\beta' + a')} - \frac{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}{\cos(\beta + a)} \right).$$

En désignant par h la variation de longueur du ressort quand l'angle a devient a', et par e le coefficient de tension de ce ressort, on a :

$$e = \frac{E' - E}{h};$$

par suite :

$$e = \frac{\mathbf{C}}{h} \left(\frac{\sin 2(\alpha + a') \cos \beta'}{\cos(\beta' + a')} - \frac{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}{\cos(\beta + a)} \right).$$

Or, le coefficient e, de tension du ressort, est généralement une con-

stante; il faut donc, pour que le régulateur soit isochrone, que

$$\frac{1}{h} \times \left(\frac{\sin 2(\alpha + a')\cos\beta'}{\cos(\beta' + a')} - \frac{\sin 2(\alpha + a)\cos\beta}{\cos(\beta + a)}\right),$$

soit aussi une constante. Mais, pour des variations égales de l'angle a, les valeurs de h vont en diminuant à mesure que l'angle a est plus grand. D'autre part, en pratique, $(\alpha + a)$ ne dépasse pas 45°; de plus $(\beta + a)$ varie dans le même sens que a, tandis que β varie en sens contraire. Il en résulte que si $a' > a$, la première fraction de la parenthèse est plus grande que la seconde, et cette fraction augmente d'ailleurs avec la valeur de a'. La parenthèse varie donc en sens inverse de h, et la relation qui précède n'est pas une constante. Par suite, le régulateur *Silver* n'est pas isochrone.

N° 38, Son mode de fonctionnement; sensibilité; activité. — Lorsque la partie A' de l'arbre principal reçoit un mouvement de rotation de la machine, le pignon C_1, *fig.* 19, *pl.* V, met en mouvement, mais en sens inverses, les secteurs C et C', de sorte que les bielles c et c' marchent dans le même sens et entraînent le manchon M; ce manchon comprime le ressort E, et diminue l'ouverture de la valve, jusqu'à ce que la tension du ressort soit suffisante pour entraîner la partie A de l'arbre principal, et par suite les boules du régulateur, dans le mouvement de rotation. Lorsque le régulateur a pris sa position d'équilibre et que toutes ses parties ont la même vitesse angulaire, la tension du ressort fait seulement équilibre à la force centrifuge des boules, augmentée de la résistance que les frottements et l'air opposent au mouvement de rotation autour de l'arbre A.

Si la vitesse angulaire augmente, les boules résistent par leur inertie à cette augmentation de vitesse, et la partie A' de l'arbre prend de l'avance sur la partie A; les secteurs C et C' sont mis en mouvement par le pignon C_1. et le manchon M avance en comprimant le ressort et en diminuant l'ouverture de la valve. Dès que le manchon M se met en mouvement, la tension du ressort E devient plus grande et produit l'entraînement des boules dont la vitesse angulaire augmente. Mais à mesure que la différence des vitesses angulaires des deux parties A' et A de l'arbre du régulateur diminue, l'inertie des boules diminue aussi, et cette inertie devient nulle lorsque ces deux parties A et A' de l'arbre ont la même vitesse angulaire. Pendant le déplacement du manchon, les boules s'écartent et la force centrifuge augmente en raison de l'augmentation de la vitesse angulaire et de l'écartement des boules; cette force agit dans le même sens que l'inertie des boules, pour comprimer le ressort et diminuer l'ouverture de la valve; elle augmente de plus en plus à mesure que l'inertie diminue, de telle sorte que lorsque le régulateur a pris sa position d'équilibre, c'est la force centrifuge seule qui, abstraction faite de la résistance de l'air, fait équilibre à la tension du ressort.

Si la vitesse angulaire diminue, les boules du régulateur résistent par leur inertie, la partie A' de l'arbre se met en retard sur la partie A; les secteurs C et C' sont mis en mouvement par le pignon C_1, et le manchon M

est repoussé ; le ressort se détend d'abord sous l'action de l'inertie, et plus tard, parce que la vitesse diminuant, la force centrifuge devient plus faible. Lorsque le régulateur a pris sa nouvelle position d'équilibre, la force centrifuge contre-balance de nouveau la tension du ressort.

Ainsi, ce régulateur fonctionne en utilisant l'inertie de ses boules et la variation de force centrifuge ; il prend sa position d'équilibre dès que l'ouverture de la valve est en rapport avec la nouvelle vitesse de rotation, et n'a aucune tendance à ramener cette vitesse à sa valeur normale. La sensibilité et l'activité de ce régulateur sont très-grandes lorsque la variation de vitesse, sans être considérable, se produit brusquement, parce que l'inertie se manifeste aussitôt et qu'il en résulte une force qui manœuvre rapidement la valve. Mais si la variation de vitesse se produit lentement et par gradations insensibles, la sensibilité et l'activité sont considérablement réduites, parce que c'est la variation seule de la force centrifuge qui détermine le fonctionnement du régulateur.

N° 38. Détermination de ses éléments. — Pour établir un régulateur du système *Silver*, il faut commencer par tracer l'épure de l'instrument en se donnant la valeur de α, et l'augmentation maxima a de cet angle, par la condition que $(\alpha + a)$ n'atteigne pas 45 degrés. Les longueurs A C et B C, *fig.* 20, *pl.* V, étant choisies, ainsi que la position de l'articulation D sur le manchon d'entraînement, on tracera les deux positions extrêmes du régulateur, en remarquant que lorsque les boules sont à leur minimum d'écartement, la valve ouverte en grand, l'articulation B de la bielle est sur la normale à l'axe qui passe par le point C. Il y a d'ailleurs avantage à écarter autant que possible le manchon d'entraînement de l'axe d'oscillation C, tant à cause de l'obliquité de la bielle B D, que pour faciliter la construction du ressort ; on peut d'ailleurs adopter les proportions de la *fig.* 19, *pl.* V, qui donnent : $\alpha = 35°$, valeur maximum de $a = 10°$, $BD = 2\ BC = 2\ DD'$. — Les deux positions extrêmes du régulateur étant tracées, on mesurera le chemin h fait par le manchon d'entraînement quand le régulateur passe d'une position extrême à l'autre, et l'angle β dans la position où les boules ont leur maximum d'écartement.

Ceci fait, représentons par :

O La vitesse angulaire de régime du régulateur.

O_1, O_2 Les vitesses angulaires maxima et minima.

K L'écart proportionnel de vitesse tel qu'en supposant $O = \frac{O_1 + O_2}{2}$, on ait sensiblement :

$$K = \frac{O_1 - O_2}{2O} \text{ et par suite } O_1 = O(1 + K) \text{ et } O_2 = O(1 - K).$$

Q La résistance supposée constante de la valve, et mesurée suivant l'axe du régulateur.

h Le chemin parcouru par la résistance Q quand la machine passe de la vitesse O_2 à la vitesse O_1 ou inversement. — Cette quantité a été mesurée sur l'épure du régulateur.

P Le poids d'une boule.

E_1, E_2 Les tensions maxima et minima du ressort.

Nous compterons seulement pour manœuvrer la valve, sur le travail développé par l'inertie des boules qui résulte de la variation de vitesse.

Remarquons que pour la valeur α de l'angle d'inclinaison des bras sur l'axe, la vitesse linéaire des boules est :

$$O_2L \sin \alpha;$$

et que pour la valeur $(\alpha + a)$ de cet angle d'inclinaison, la vitesse linéaire est :

$$O_1L \sin (\alpha + a).$$

Le travail développé ou absorbé par l'inertie est donc :

$$\tfrac{1}{2} \times 4 \frac{P}{g} [O_1^2L^2 \sin^2 (\alpha + a) - O_2^2L^2 \sin^2 \alpha].$$

Et comme $O_1 = O(1 + K)$ et $O_2 = O(1 - K)$, l'expression du travail de l'inertie devient :

$$\frac{2P}{g} O^2L^2\Big[(1 + K)^2 \sin^2 (\alpha + a) - (1 - K)^2 \sin^2 \alpha\Big].$$

Le travail de la force Q dans le même temps étant Qh, on en déduit :

$$P = \frac{Qhg}{2O^2L^2[(1 + K)^2 \sin^2 (\alpha + a) - (1 - K)^2 \sin^2 \alpha]}.$$

Le poids des boules étant déterminé, il reste à fixer la tension du ressort pour les deux positions extrêmes du régulateur. De la condition générale d'équilibre (1) du n° 38_2, on tire :

$$E = \frac{2P}{g} \times \frac{O^2L^2}{l} \times \frac{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}{\cos (\beta + a)}.$$

On a pour le minimum d'écartement des boules, et en remarquant que $a = 0$, ce qui correspond au minimum de vitesse $O_2 = O(1 - K)$:

$$E_2 = \frac{2P}{g} \times \frac{O^2(1 - K)^2L^2}{l} \times \sin 2\alpha;$$

Et pour le maximum d'écartement des boules, ce qui correspond à la vitesse maxima $O_1 = O(1 + K)$:

$$E_1 = \frac{2P}{g} \times \frac{O^2(1 + K)^2L^2}{l} \times \frac{\sin 2(\alpha + a) \cos \beta}{\cos (\beta + a)}.$$

On a par suite :

$\frac{E_2 - E_1}{h}$ = coefficient d'élasticité du ressort, ou variation de sa tension par unité de longueur d'allongement ou de raccourcissement.

Quant au levier fixé sur le bras et à l'extrémité duquel s'articule la bielle, sa position est indifférente; la seule condition qu'il ait à remplir, c'est que son extrémité B soit sur la normale à l'axe de rotation qui passe

par le centre d'oscillation C, lorsque le régulateur est au repos, la valve étant ouverte en grand.

N° 35, Conclusions pour son emploi. — Le régulateur *Silver* utilise l'inertie de ses boules et la force centrifuge; il est doué d'une assez grande activité, et convient pour arrêter rapidement les écarts brusques de la vitesse, comme il s'en produit dans les machines marines à a suite des changements rapides d'immersion du propulseur. Il est même à remarquer que son action est d'autant plus prompte que les écarts de vitesse sont plus considérables et plus brusques. Il est employé dans ce but sur un grand nombre de bâtiments américains ou anglais et même sur quelques paquebots français. Son indifférence à l'action de la pesanteur permet de l'employer aussi pour modérer les écarts de la vitesse de régime sur les bâtiments tels que les paquebots, dont les machines fonctionnent presque toujours à la même allure. Mais il ne permet pas de faire varier la vitesse de régime, et à ce titre, il ne convient pas aux machines des bâtiments de guerre; d'ailleurs il ne saurait maintenir le nombre de tours constant.

Il a été question au n° 35, d'un régulateur *Silver* qui présente exactement la même disposition comme construction, mais dans lequel les boules sont remplacées par des ailettes dont la résistance dans l'air augmente avec la vitesse de rotation. — Ce dernier régulateur tend à se substituer à celui que nous venons d'étudier.

N° 39. — 1. Régulateurs isochrones à force centrifuge : deux classes. Inconvénients d'un isochronisme parfait. — 2. Historique des solutions proposées pour le problème de l'isochronisme dans les régulateurs à force centrifuge et à action continue. — 3. Solution générale du problème de l'isochronisme à l'aide de l'action de la pesanteur due à M. Yvon Villarceau. — 4. Dispositions communes aux régulateurs isochrones faisant varier le travail moteur ou le travail résistant. — 5. Dispositions spéciales aux régulateurs isochrones faisant varier le travail moteur. — 6. Dispositions relatives aux régulateurs isochrones faisant varier le travail résistant.

N° 39, Régulateurs isochrones à force centrifuge: deux classes. Inconvénients d'un isochronisme parfait. — L'isochronisme est caractérisé par la condition que le régulateur se trouve en équilibre, quelle que soit la position angulaire des tiges oscillantes, ou l'ouverture de l'organe de vapeur, s'il s'agit de moteurs à vapeur, lorsque la vitesse de rotation est égale à la vitesse dite de *régime*. Les régulateurs isochrones jouissent en conséquence de la propriété d'osciller dès que la vitesse réelle s'écarte d'une quantité donnée de la vitesse de régime; les oscillations produites ont pour résultat de faire varier l'orifice de distribution de la vapeur dans un sens tel que l'écart de vitesse soit finalement réduit. — S'il s'agit de régulateurs destinés à maintenir un mouve-

ment uniforme, sans se préoccuper d'économiser le travail moteur, les appareils sont pourvus d'ailettes liées aux tiges oscillantes : le développement variable de ces ailettes, détermine une variation correspondante de la résistance de l'air, variation qui tend toujours à réduire les écarts de la vitesse réelle par rapport à la vitesse de régime.

Les régulateurs isochrones présentent ainsi deux classes distinctes : à la première appartiennent ceux qui font varier le travail moteur, à la seconde, ceux qui font varier le travail résistant. Les régulateurs de la première classe sont les seuls qu'on puisse appliquer aux machines industrielles.

L'isochronisme est devenu une question de premier ordre dont beaucoup d'ingénieurs se sont occupés et qui a donné lieu à toute une série de travaux. Mais on s'est beaucoup exagéré les avantages plus apparents que réels et plus théoriques que pratiques de cette question des régulateurs : de là, des mécomptes que nous avons signalés au n° 18_8. En définitive, l'isochronisme a besoin d'être employé avec réserve.

Il importe d'abord de bien établir que la condition d'isochronisme ne peut être réalisée qu'en négligeant la résistance de la valve. En effet, non-seulement, cette résistance est variable avec la position de la valve sur son orifice, mais elle change de sens en même temps que les variations de la vitesse de régime, et agit tantôt contre la force centrifuge qui tend à écarter les boules du régulateur et tantôt contre la force quelle que soit sa nature, qui tend à les rapprocher. Il est donc impossible de faire entrer cette résistance en ligne de compte dans l'établissement de l'isochronisme d'un régulateur.

Ceci compris, nous allons démontrer :

1° Qu'un régulateur *isochrone parfait* ne peut rester en équilibre, s'il n'a aucune résistance à vaincre et qu'il détermine des oscillations *périodiques* de la vitesse de régime.

2° Qu'un régulateur *isochrone parfait* qui a une résistance à vaincre (celle de la valve), détermine des oscillations à *longue période*.

En effet, reportons-nous au régulateur de Watt (n° 37_1) que nous supposerons isochrone et soient :

P Le poids d'une des boules.
L La distance du centre de gravité de cette boule à l'axe d'oscillation du bras.
α L'angle d'inclinaison du bras sur l'axe.

R La distance du centre de gravité de la boule à l'axe de rotation.
O' La vitesse de régime.
k Une variation aussi petite qu'on voudra de la vitesse de régime.

Lorsque la vitesse passe de la valeur O à la valeur $O(1 \pm k)$, la variation de la force centrifuge est exprimée, pour chaque boule par :

$$f = \pm \frac{P}{g} O^2R(1 \pm k)^2 \mp \frac{P}{g} O^2R.$$

En effectuant et en négligeant k^2 qui est assez petit, on a :

$$f = 2k \frac{P}{g} O^2R.$$

Cette force, qui est perpendiculaire à l'axe de rotation, a une composante normale au bras, qui a pour valeur :

$$2k \frac{P}{g} O^2R \cos\alpha,$$

et qui imprime à la masse $\frac{P}{g}$ de la boule, une accélération ω, telle qu'on a :

$$2k \frac{P}{g} O^2R \cos\alpha = \frac{P}{g} \omega;$$

d'où :

$$\omega = 2kO^2R \cos\alpha.$$

c'est-à-dire que l'accélération ω est indépendante du poids des boules, et que si le régulateur est instable, ce ne peut être à cause de la plus ou moins grande valeur de ce poids.

Comme nous supposons que le régulateur n'a aucune résistance à vaincre, ses boules doivent se mettre en mouvement à la moindre variation de vitesse et sa sensibilité est parfaite, comme son activité et sa vivacité. Mais la valeur ci-dessus de ω ne peut être nulle que si la variation k de vitesse l'est aussi ; et du moment que cette variation se produit, aussi petite que l'on voudra, il en résulte toujours une valeur finie de ω. Or, la variation de force centrifuge ne peut imprimer aux boules l'accélération ω que dans un temps également fini, pendant lequel la valve est déplacée de la quantité qui correspond à la modification nécessaire du travail moteur.

Ceci établi, supposons qu'il se soit produit une augmentation de la vitesse de régime. Les boules du régulateur s'écartent avec une accélération ω qui correspond à cette variation de vitesse ; le travail moteur est modifié par suite de la manœuvre de la valve, et la vitesse de régime revient bientôt à sa valeur normale. Les boules du

régulateur occupent alors une certaine position que nous désignerons par *A*, mais elles ne s'arrêtent pas; ces boules ne s'arrêteront que lorsqu'il se sera produit un ralentissement capable de détruire l'accélération ω, et il en résultera une nouvelle variation de la vitesse de régime; cette vitesse diminuera non-seulement jusqu'au moment de l'arrêt des boules, mais encore jusqu'au moment où ces boules revenant sur elles-mêmes sous l'influence de cette diminution de vitesse, repasseront à leur position *A*. Mais à cet instant, ces boules seront animées d'une accélération ω égale et directement opposée à la première, en vertu de laquelle la position *A* sera franchie, et les boules s'écarteront de cette position jusqu'à ce que leur accélération ω soit détruite par une augmentation de la vitesse de régime qui les renverra en sens contraire, et ainsi de suite. De sorte qu'il n'y a plus de position d'équilibre possible pour ce régulateur.

L'amplitude des oscillations du régulateur autour de la position *A* qui devrait être sa position d'équilibre, ainsi que l'importance des variations correspondantes et alternatives de la vitesse de régime, dépendent de la valeur de la première variation de vitesse qui a mis le régulateur en mouvement, et surtout de la rapidité avec laquelle cette variation s'est produite. — Si pendant que le régulateur est en train d'osciller autour de sa position moyenne, il survient une nouvelle variation de la vitesse *moyenne* de régime, il peut arriver l'un des trois cas suivants :

1° Le régulateur s'arrêtera et prendra sa position d'équilibre si la nouvelle variation de vitesse produit une accélération égale et de sens contraire à celle que possèdent les boules au moment où le travail moteur est modifié. Mais cet équilibre sera détruit et il se produira encore des oscillations à la première variation de vitesse qui surviendra.

2° Le régulateur s'arrêtera pour rebrousser chemin et recommencer une autre série d'oscillations, si la nouvelle variation de vitesse produit une accélération en sens contraire de celle que possèdent les boules, mais plus grande que cette dernière au moment où le travail moteur est modifié.

3° L'amplitude des oscillations du régulateur deviendra plus grande si la nouvelle variation de vitesse produit une accélération de même sens que celle que possèdent les boules au moment où le travail moteur est modifié. Dans ce dernier cas, les variations pé-

riodiques de la vitesse moyenne de régime seront considérablement augmentées, et les amplitudes d'oscillation du régulateur pourront atteindre leurs limites extrêmes.

Dans tous les cas, le régulateur ne saurait prendre de lui-même une position d'équilibre, et reste dans un état perpétuel d'oscillation, en faisant varier incessamment la vitesse de quantités plus ou moins grandes, alors même que toute autre cause de variation de cette vitesse aurait cessé d'exister.

Entrons maintenant dans la réalité des faits, le régulateur isochrone parfait étant obligé de conduire une valve qui offre une certaine résistance; voici ce qui se passe :

La variation de force centrifuge et par suite de la vitesse devra être suffisante pour vaincre la résistance de la valve, de sorte que la sensibilité du régulateur sera considérablement réduite. D'un autre côté, l'inertie de la valve et des pièces de la transmission du mouvement donne naissance à une force qui s'oppose au mouvement du régulateur et qui nécessite, pour sa part, un surcroît de variation de force centrifuge. Or, cette force résultant de l'inertie, diminue rapidement dès que la valve est ébranlée, de sorte que le régulateur se trouve alors *nanti* d'un excès de puissance motrice dont il n'a plus l'emploi et qui imprime à ses boules une accélération telle que le régulateur prend immédiatement sa position à l'extrême limite de ses oscillations, la valve étant par exemple complétement fermée. Mais alors, non-seulement la variation de vitesse a été réprimée, mais il se produit une variation de sens contraire à la suite de laquelle, toujours en raison de la force développée par l'inertie de la valve, le régulateur prend sa position extrême opposée et la valve est ouverte en grand. La vitesse devient alors trop grande, et le régulateur manœuvre de nouveau la valve, et ainsi de suite.

Lorsque le régulateur n'avait pas de résistance à vaincre, l'amplitude de ses oscillations pouvait ne pas atteindre ses limites extrêmes, et dans tous les cas, les boules rebroussaient chemin dès qu'elles avaient perdu leur vitesse; c'est-à-dire qu'elles ne séjournaient pas dans leurs positions extrêmes d'oscillation. Il n'en est pas de même ici : la valve est manœuvrée rapidement dès qu'elle est ébranlée; mais elle séjourne un certain temps dans ses positions extrêmes de fermeture complète ou d'ouverture en grand, jusqu'à ce que la variation de force centrifuge soit suffisante pour vaincre

non-seulement sa résistance propre, mais aussi la force à laquelle son inertie donne naissance. Les variations de la vitesse qui résultent de ces intermittences de mouvement et d'arrêt de la valve, sont désignées sous le nom d'*oscillations à longue période.*

N° 39, Historique des solutions proposées pour le problème de l'isochronisme dans les régulateurs à force centrifuge et à action continue. — Tous les régulateurs à force centrifuge isochrones construits jusqu'à ce jour ont, plus ou moins développé, le défaut d'instabilité que nous venons de signaler. Nous étudierons en détail (n°° 40 et suivants) le mode de fonctionnement des principaux d'entre eux ; nous nous bornerons à indiquer ici les solutions proposées pour le problème de l'isochronisme.

Reportons-nous au régulateur de Watt (n° 37) qui a servi de point de départ, et représentons par :

P Le poids d'une des boules.
q Une résistance constante sur le manchon mobile du régulateur, mais autre que la résistance de la valve, et dont l'action s'ajoute à celle des poids P pour faire équilibre à la force centrifuge.
g L'accélération de la chute des graves.
L La distance du centre de gravité de chaque boule à l'axe d'oscillation du bras correspondant.
l La longueur commune des bras.
D La distance commune des axes d'oscillation des bras et des bielles à l'axe de rotation.
α L'angle d'inclinaison des bras sur l'axe de rotation.
h La distance verticale du centre de gravité des boules à l'articulation des bras.
O La vitesse angulaire de régime.

On remarque d'abord que la force q peut être remplacée (n° 36, théorème 2) par deux forces égales à $q \times \frac{l}{L}$ et appliquées au centre de gravité des boules, de sorte que le poids P étant augmenté de la force $q \times \frac{l}{L}$, la condition d'équilibre est :

$$\frac{\frac{P}{g}\,O^2(D + L\sin\alpha)}{P + q\,\frac{l}{L}} = \operatorname{tang}\alpha; \tag{1}$$

1° Lorsque la force q est nulle, et si D devient nul par le transport du centre d'oscillation des bras sur l'axe de rotation, l'équation (1) ci-dessus donne, en remarquant que $L\cos\alpha = h$:

$$O^2 = \frac{g}{h};$$

d'où une première solution de l'isochronisme, réalisée par le régulateur parabolique de *Franck* et celui de *Bariquant.* Dans ces régulateurs, les

boules sont assujetties à se mouvoir sur un arc de parabole dont h est la sous-normale. Les bras sont supprimés ; ce sont les arcs paraboliques qui entraînent les boules dans le mouvement de rotation, et ces dernières sont reliées par des bielles au manchon mobile. — Cette solution est d'une réalisation très-difficile et très-compliquée pour satisfaire aux besoins de la pratique; car, outre le frottement des boules dans le plan de leur guide parabolique, il se manifeste des frottements latéraux qui troublent à chaque instant le fonctionnement du régulateur. Cette solution ne convient d'ailleurs qu'à une seule vitesse de régime, puisque h reste constant, tandis que cette quantité devrait varier en sens contraire de O^2 pour permettre de fonctionner à diverses allures.

2° Si on tire la valeur de q de l'équation (1), il vient :

$$q = \frac{P[O^2(D + L\sin\alpha) - g\,\text{tang}\,\alpha]}{g\,\text{tang}\,\alpha} \times \frac{L}{l}.$$

Et on peut déterminer la valeur variable de la force q pour que la vitesse O reste constante, quelles que soient les variations de l'angle α. D'où diverses solutions de l'isochronisme dont la plus ancienne est celle proposée par M. *Charbonnier*, et consistant dans l'adoption d'un contre-poids fixé à l'une des extrémités d'un levier dont l'autre agit sur le manchon, en s'appuyant contre lui par l'intermédiaire de cames convenablement déterminées; cette disposition manque de simplicité; elle n'est d'ailleurs pas applicable en marine.

3° Si les poids des boules sont équilibrés et la résistance de la valve étant toujours négligée, on peut remplacer l'action du poids des boules et de la force q par celle E d'un ressort agissant directement en sens contraire de la force centrifuge. L'équation (1) se réduit à :

$$\frac{2P}{g}\, O^2(D + L\cos\alpha) = E;$$

d'où on voit la possibilité d'une nouvelle solution en réglant convenablement la tension E du ressort, pour que cette tension varie avec l'angle α, de manière à maintenir O constant. — A ce point de vue, la solution à la fois la plus simple et la plus parfaite est celle qui est due à M. *Léon Foucault* et dans laquelle le manchon mobile étant celui du haut, $L = 2l$, ce qui fait (n° 36_2, théorème 3) que les centres de gravité des boules restent toujours à la même hauteur, quelle que soit la valeur de l'angle α. Ce régulateur est étudié en détail au n° 41;

4° L'action d'un ressort directement opposé à l'action de la force centrifuge peut être combinée avec le poids des boules et, sous certaines conditions de construction, donner une nouvelle solution de l'isochronisme; c'est ce qu'a fait encore M. *Léon Foucault* dans un deuxième type de régulateur dont il est question au n° 42.

5° L'action d'un ressort opposée à l'action de la force centrifuge peut être combinée avec l'équilibration statique du poids des boules et avec la première solution de l'isochronisme mentionnée ci-dessus. C'est ce qu'a

fait M. *Farcot* dans son régulateur à bras croisés. — Par le croisement des bras, M. *Farcot* est parvenu à faire parcourir aux centres des boules des cercles osculant d'assez près, dans les limites de leurs oscillations, la parabole théorique ; les boules sont statiquement équilibrées par des masses additionnelles faisant corps avec le manchon mobile ; puis l'isochronisme est réalisé par l'emploi d'un ressort dont l'action se fait sentir dans le sens de l'axe du régulateur (voir nº 43). Cette tension doit être constante ; M. Farcot a sensiblement obtenu ce résultat par l'emploi d'un double ressort très-allongé, agissant sur le manchon mobile du régulateur par l'intermédiaire d'un levier de longueur totale invariable. Le point d'appui de ce levier peut être déplacé pour faire varier l'action du ressort transmise au régulateur et permettre ainsi de changer l'allure de la machine.

6º Enfin, deux solutions très-rigoureuses et très-pratiques du problème de l'isochronisme ont été données par MM. *Rolland* et *Yvon Villarceau* sous certaines conditions déterminées d'installations et de dimensions. — Après avoir donné un grand nombre de solutions à l'aide de masses additionnelles, M. *Rolland* est arrivé à un régulateur à boules conjuguées (voir nº 40₁), dans lequel l'isochronisme est obtenu sans le secours d'aucun ressort ni contre-poids additionnels fixe ou variable. — M. *Yvon Villarceau* a donné une solution générale (nº 39₂) des régulateurs isochrones des deux *classes*, à l'aide d'un poids additionnel sous forme de rondelles enfilées sur l'axe et reposant sur le manchon mobile du régulateur, de manière à n'introduire dans l'instrument aucune autre force que l'action verticale de ces poids.

39₂ Solution générale du problème de l'isochronisme à l'aide de l'action de la pesanteur, due à M. Yvon Villarceau. — La solution du problème de l'isochronisme due à M. *Yvon Villarceau* convient aux deux classes de régulateurs. L'appareil qui réalise cette solution, est représenté par la *fig.* 21, *pl.* V, dont voici la légende : Fig. 21, Pl. V.

A Axe du régulateur, recevant son mouvement de rotation de l'arbre de la machine, ou de la pièce dont il s'agit de régulariser le mouvement.
B Manchon d'entraînement du levier de manœuvre de la valve. Ce manchon glisse à frottement doux sur l'axe A.
b Bras du régulateur ou tiges inférieures.
b' Prolongements des bras, portant les masses régulatrices à leur extrémité inférieure.
b_1 Bielles du régulateur ou tiges supérieures.
C Manchon claveté sur l'axe du régulateur. C'est par l'intermédiaire de ce manchon que tout l'appareil est entraîné dans le mouvement de rotation de l'axe.
L Levier de manœuvre de la soupape de distribution de vapeur, pour les régulateurs faisant varier le travail moteur.
M Masses régulatrices principales, fixées à demeure aux extrémités inférieures des bras.
m Masses régulatrices secondaires, fixées aux masses principales M, par l'intermédiaire de vis très-allongées, taraudées dans ces masses principales. Cette disposition permet de régler l'instrument en faisant varier, suivant le besoin, la position du centre de gravité de l'ensemble de toutes les masses placées à l'extrémité de chaque bras.
r, vue 2ᵉ. Ailettes ajoutées aux extrémités des bras, pour les régulateurs qui font varier le travail résistant. Dans ce cas, le levier *l* est supprimé, puisqu'il n'y a pas de valve à mouvoir.

L'appareil qui nous occupe emprunte au régulateur de Watt : l'axe ver-

tical central A, les deux plateaux dont l'un C est fixe par rapport à cet axe, et l'autre B est mobile, le long du même axe, au moyen d'une douille ou manchon, et deux ou un plus grand nombre de paires de tiges articulées entre elles et avec les deux plateaux; ces tiges, d'égale longueur, forment des triangles isocèles avec la droite qui joint leurs articulations sur les plateaux. Le plateau supérieur B est le plateau mobile, et M. *Villarceau* nomme tiges supérieures les tiges b_1 qui sont articulées sur ce plateau, et tiges inférieures les tiges b, qui sont articulées sur le plateau fixé sur l'axe. Ce nouveau régulateur se distingue de celui de Watt par la figure et la position des masses principales oscillantes; ces masses, au lieu d'être des sphères ayant leur centre sur le prolongement des tiges supérieures, sont des masses de figure *non déterminée* à priori, dont le centre de gravité est situé en un point lié géométriquement avec les tiges inférieures. — On suppose que les centres de gravité des tiges sont sur leurs axes de figure et que les masses de ces tiges, ainsi que la masse principale, sont symétriques par rapport à un même plan passant par l'axe vertical central. Un ensemble formé de deux tiges oscillantes et d'une masse principale constitue un *système partiel*, et le régulateur se compose de n systèmes partiels, assujettis à la condition que leurs plans de symétrie soient angulairement équidistants autour de l'axe vertical central. (Dans l'appareil de Watt, le nombre $n = 2$, il est égal à 3 dans un appareil construit par M. *Bréguet* sur les plans de M. *Villarceau*.) — On voit que la disposition adoptée par M. *Villarceau* est une généralisation du régulateur de Watt; sans une pareille généralisation, il serait impossible de satisfaire aux conditions de l'isochronisme et à celle d'obtenir une vitesse de régime donnée.

L'application des principes de la mécanique a conduit M. *Villarceau* aux résultats suivants.

En désignant par :

n Le nombre de systèmes partiels.

q Le poids du plateau mobile et du manchon réunis.

$\frac{q}{n}$ La force résultant du poids q et agissant dans chaque système partiel, à l'articulation de la tige supérieure avec le plateau mobile.

g L'accélération de la chute des graves.

D La distance commune des points d'articulation des tiges sur les plateaux, à l'axe central.

α L'angle formé par les tiges articulées avec la verticale, et dans un sens tel que l'articulation commune des tiges soit à une distance de l'axe central supérieure à D.

Θ La vitesse angulaire de *régime* du régulateur.

L'isochronisme est réalisé par les conditions suivantes :

1° Si dans un système partiel on isole par la pensée la masse principale et les deux tiges oscillantes, et qu'on suppose la tige supérieure rabattue sur la tige inférieure, autour de leur articulation commune, le système ainsi formé est tel que toute droite menée dans le plan de symétrie par le point d'articulation de la tige inférieure avec le plateau fixe est un axe *principal d'inertie* relatif à ce point.

2° Si on relève la tige supérieure jusqu'à ce que les deux tiges fassent avec la ligne qui joint leurs extrémités non communes, l'angle α déterminé par la relation $\tang \alpha = \frac{O^2D}{g}$, et qu'on applique à l'extrémité libre de la tige supérieure (les deux tiges étant supposées liées invariablement), un poids $\frac{q}{n}$, le système ainsi formé est en équilibre statique autour d'un axe horizontal passant par l'articulation de la tige inférieure avec le plateau fixe.

On peut changer la vitesse de régime moyennant l'addition de faibles masses supplémentaires aux tiges supérieures, addition qui a pour but de réaliser, relativement à l'ensemble des deux tiges, la première condition prescrite pour un système partiel. Les tiges étant ainsi modifiées il suffit, pour changer la vitesse de régime, de changer l'angle de calage de la masse principale par rapport à la tige inférieure, et de modifier en conséquence le poids du plateau supérieur.

N° 39_4. Dispositions spéciales aux régulateurs faisant varier le travail moteur. — Désignons par :

n Le nombre de systèmes partiels.

O_1, O_2 Les limites supérieure et inférieure de la vitesse de rotation entre lesquelles la vitesse réelle doit rester comprise pour le bon fonctionnement des opérateurs.

$K = \frac{1}{2}\frac{O_1 - O_2}{O}$ *L'écart proportionnel* de la vitesse, c'est-à-dire la fraction de sa valeur dont la vitesse de régime pourra varier dans un sens ou dans l'autre.

A L'angle formé par les tiges avec la verticale, cet angle étant mesuré dans le même sens que l'angle α.

Q L'effort constant ou variable que la fourchette oppose au mouvement ascendant ou descendant du manchon.

Q_0 Le maximum des valeurs successives que prend la quantité $\frac{Q \sin A}{2K \sin \alpha \cos (A - \alpha)}$, lorsque A varie entre ses limites extrêmes.

p Le poids d'une des tiges supérieures comprenant celui de toutes les pièces solidaires avec cette pièce (np sera le poids total des tiges supérieures).

L' La distance du centre de gravité de la même tige à son point d'articulation avec le plateau supérieur, mesurée vers l'autre articulation.

l La longueur commune des tiges, ou la distance comprise entre leurs points d'articulation.

q Le poids du plateau mobile et du manchon réunis.

Ces quantités doivent satisfaire à la relation :

$$q + np = Q_0 + np\frac{L'}{l};$$

c'est-à-dire que le poids total du manchon et des tiges supérieures doit être égal à la quantité Q_0 augmentée de la fraction $\frac{L'}{l}$ du poids des tiges supérieures réunies.

Un régulateur construit suivant les conditions énoncées ne devra pas laisser subsister d'écart proportionnel de la vitesse excédant sensiblement l'écart K, et cela quelle que puisse être dans les limites données, la varia-

tion du travail résistant. On doit remarquer que les écarts périodiques étant du ressort des volants, il convient que l'écart proportionnel admis dans le calcul du régulateur, ne soit pas inférieur à celui qui a été employé pour le calcul du volant, le régulateur ne pouvant avoir d'autre objet que de ramener la vitesse moyenne à sa valeur de régime.

Les formes les plus simples que l'on puisse employer pour les masses principales sont celles d'un parallélipipède ou d'un cylindre, dont les plus grandes dimensions sont dans les plans de symétrie. Lorsque les masses des tiges sont équilibrées à part, au moyen des masses supplémentaires, la droite qui joint d'articulation de la tige inférieure et du plateau fixe avec le centre de gravité du parallélipipède ou du cylindre, est perpendiculaire à leur plus grande dimension; dans le cas contraire, cette droite s'écarte quelque peu de la même perpendiculaire.

N° 39$_5$ Dispositions spéciales aux régulateurs faisant varier le travail résistant. — Le seul objet de ces appareils étant d'obtenir le mouvement le plus uniforme possible, l'écart proportionnel K ne figure pas parmi les données; dès lors on ne doit pas se préoccuper de satisfaire à la condition énoncée pour les régulateurs de la première classe, et le manchon n'a pas besoin de présenter une gorge, puisqu'il n'existe pas de fourchette à mettre en action. Malgré les précautions les plus délicates, il arrive que la densité des métaux n'est pas exactement celle dont on a fait usage dans les calculs, ou bien que les dimensions réalisées par le constructeur ne sont pas tout à fait égales à celles qui lui ont été assignées. De là un défaut d'isochronisme, et même des écarts plus ou moins sensibles entre la vitesse de régime et les diverses vitesses effectives. Pour obvier à ces inconvénients, il faut se réserver des moyens de réglage. Or les diverses conditions à remplir se traduisent ici par quatre équations; par conséquent, on doit se réserver les moyens de produire quatre variations distinctes de l'état de chaque système partiel. Ces quatre variations s'obtiennent :

1° Au moyen d'un simple changement de la masse du manchon.

2° En déplaçant trois masses mobiles le long des tiges filetées faisant partie de la masse principale, et nommées masses régulatrices.

Ces quatre conditions sont exigées par une théorie qui n'assigne aucune limite aux déplacements angulaires des tiges dans les plans de symétrie; mais comme, en réalité, l'amplitude de ces déplacements ne dépasse pas $\frac{1}{6}$ ou $\frac{1}{7}$ de la circonférence, il arrive que, si l'exécution de l'appareil n'est pas trop incorrecte, il suffit d'opérer *trois*, ou même *deux* seulement des quatre variations exigées par la théorie générale; on est donc dispensé de modifier le poids du manchon, et l'on n'a qu'à faire varier les positions des masses régulatrices.

La masse principale est un parallélipipède rectangle relié à la tige inférieure au moyen d'une chape; du côté opposé à l'articulation, une ailette se fixe au parallélipipède par le moyen d'une autre chape. Les masses régulatrices sont des cylindres traversés par des tiges filetées ; deux de

ces tiges sont implantées sur la face du parallélipipède qui regarde l'ailette et à des distances égales des bouts du parallélipipède; les dimensions des tiges filetées sont égales, ainsi que celles des masses régulatrices qu'elles conduisent; la troisième tige a son axe de figure en coïncidence avec le grand axe du parallélipipède; les masses de la tige et du cylindre mobile qu'elle supporte sont calculées de manière que l'axe de figure de l'ailette passe à la fois par le centre de gravité du parallélipipède et le point d'articulation de la tige inférieure. On ne saurait imaginer de solution plus simple; car chaque organe remplit ici le rôle indispensable que lui assigne la théorie.

Pour régler l'appareil, il faut mettre le régulateur en communication avec un mouvement d'horlogerie, et on observe la vitesse O qu'il acquiert sous l'action du poids moteur, ainsi que l'angle α des tiges avec la verticale. On fait varier le poids moteur, et on observe les nouvelles valeurs des quantités O et α. Si, en opérant de cette manière, on recueille au moins quatre systèmes distincts des valeurs O et α, on aura les données expérimentales nécessaires pour calculer les trois déplacements que doivent subir les masses régulatrices et au besoin les variations du poids du manchon mobile.

N° 40. — 1. Solution particulière du problème de l'isochronisme à l'aide de l'action de la pesanteur due à M. Rolland. — 2. Description du type le plus parfait des régulateurs Rolland à boules conjuguées. — 3. Sa subordination à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — 4. Son mode de fonctionnement; sensibilité; activité. — 5. Détermination de ses éléments. — 6. Conclusions pour l'emploi des régulateurs Rolland à boules conjuguées.

N° 40_1 Solution particulière du problème de l'isochronisme à l'aide de l'action de la pesanteur due à M. Rolland. — M. *Rolland* a imaginé toute une famille de régulateurs isochrones dont voici la disposition générale, *fig.* 22, *pl.* V.

A'AA'' Axe de rotation du régulateur. Fig. 22, Pl. V.

CA Bras ou support lié invariablement avec cet axe, portant en C un axe horizontal perpendiculaire au plan de la figure, et tournant sur deux coussinets.

CB et CB' Leviers perpendiculaires l'un sur l'autre ainsi qu'à l'axe C, et calés sur ce dernier axe. Ces leviers sont prolongés jusqu'en N et H, où ils sont articulés avec les leviers NC' et HC'', articulés eux-mêmes en C' et C'' avec les bras A'C', A''C'', de longueur invariable et assujettis à rester horizontaux, mais pouvant se mouvoir dans le sens vertical. Ce résultat est obtenu par la liaison invariable de ces deux bras avec les douilles A' et A'', mobiles à frottement doux autour de l'axe de rotation A'AA'', mais assujetties à tourner avec cet axe. Les leviers NC', NC, HC, HC'' sont égaux entre eux, et les distances CA, C'A', C''A'' sont égales entre elles.

B et B' Boules égales portées par les leviers CB et CB', et dont les centres sont également éloignés de l'axe d'oscillation C.

x et y Poids additionnels placés sur les bras C''A'', C'A'.

Le régulateur peut se composer d'autant de systèmes partiels qu'on voudra, semblables à celui qui vient d'être décrit, à la condition que les plans de tous ces systèmes fassent entre eux des angles dièdres égaux et

partagent, par suite, l'espace en parties égales. — Quel que soit le nombre de systèmes partiels dont se compose le régulateur, l'équilibre de l'ensemble de l'appareil sera assuré si celui du système partiel représenté sur la *fig.* 22 l'est également. — Soient :

- P Le poids d'une boule.
- g L'accélération de la chute des graves.
- l La longueur NC' = NC = CH = HC''.
- L La distance CB = CB' du centre de gravité de chaque boule à l'axe d'oscillation C.
- D La distance CA = C'A' = C''A''.
- x Un effort vertical exercé de haut en bas en C'' par le bras C''A''.
- y Un effort semblable exercé en C' par le bras C'A'.
- α L'angle formé par la direction du levier CB avec la verticale.
- O La vitesse angulaire de l'ensemble dn système autour de son axe A'AA''.

La force centrifuge développée au centre de la boule B a pour valeur :

$$f = \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha).$$

La force centrifuge développée au centre de la boule B' a pour valeur :

$$f' = \frac{P}{g} O^2(D - L \cos \alpha);$$

et cette force étant transportée au centre de la boule B, prend une valeur :

$$f'_1 = \frac{P}{g} O^2(D - L \cos \alpha) \frac{L \sin \alpha}{L \cos \alpha}.$$

De sorte qu'on a, au point B, la force centrifuge totale $f + f'_1$, dont la valeur est :

$$F = \frac{P}{g} O^2 \left[D + L \sin \alpha + (D - L \cos \alpha) \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \right];$$

ce qui se réduit à :

$$(1) \qquad F = \frac{PO^2D(\sin \alpha + \cos \alpha)}{g \cos \alpha}.$$

Le poids P de la boule B' agit en sens contraire de celui de la boule B; et si on transporte ce poids au centre de cette dernière boule, il aura une valeur :

$$-P \times \frac{L \cos \alpha}{L \sin \alpha} = -P \times \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

La force x qui agit en C'' pourrait être remplacée par deux forces égales appliquées, l'une en H et l'autre en H', si le losange était complet, ce qui revient à la remplacer par une force $2x$ appliquée en H, et qui, transportée au centre de la boule B, prend une valeur :

$$+ 2x \frac{l \cos \alpha}{L \sin \alpha}.$$

La force y, agissant en C', peut semblablement être remplacée par une force $2y$ appliquée en N, et qui, transportée au centre de la boule B, devient :

$$+ 2y\frac{l}{L}.$$

Les actions verticales au centre de la boule B ont donc une résultante :

$$P_1 = P - P\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} + 2x\frac{l\cos\alpha}{L\sin\alpha} + 2y\frac{l}{L};$$

ce qui se réduit à :

$$(2) \qquad P_1 = \frac{(PL + 2yl)\sin\alpha + (2xl - PL)\cos\alpha}{L\sin\alpha}.$$

L'équilibre sera établi lorsque la résultante des forces (1) et (2) suivre la direction du bras BC, et on aura :

$$\frac{\dfrac{PO^2D(\sin\alpha + \cos\alpha)}{g\cos\alpha}}{\dfrac{(PL + 2yl)\sin\alpha + (2xl - PL)\cos\alpha}{L\sin\alpha}} = \operatorname{tang}\alpha;$$

ce qui se réduit à :

$$(3) \qquad \frac{P}{g}O^2LD(\sin\alpha + \cos\alpha) = (PL + 2yl)\sin\alpha + (2xl - PL)\cos\alpha.$$

Pour assurer l'isochronisme du régulateur, il faut rendre cette équation indépendante de α, et, dans ce but, y annuler les coefficients de $\sin\alpha$ et de $\cos\alpha$. — En mettant l'équation (3) sous la forme :

$$(4) \qquad \left[\frac{P}{g}O^2LD - (PL + 2yl)\right]\sin\alpha = \left(2xl - PL - \frac{P}{g}O^2LD\right)\cos\alpha,$$

on voit qu'il faut satisfaire aux égalités :

$$\frac{P}{g}O^2LD = 2yl + PL = 2xl - PL.$$

Le régulateur étant isochrone, $\frac{O^2D}{g}$ peut être remplacé par une constante $\mathbf{C}$, et on a :

$$\mathbf{C}PL = 2yl + PL = 2xl - PL;$$

d'où :

$$y = P\frac{L}{2l}(\mathbf{C} - 1), \quad x = P\frac{L}{2l}(\mathbf{C} + 1), \quad O^2 = \mathbf{C}\frac{g}{D}.$$

En donnant à $\mathbf{C}$ et à D des valeurs convenables, on peut obtenir pour O telle valeur qu'on juge utile, et déterminer ensuite les valeurs de x et de y.

En faisant $\mathbf{C} > 1$, les valeurs de x et de y sont toujours positives et agis-

sent de haut en bas; ces forces peuvent être remplacées par des poids convenables placés sur les douilles mobiles A″ et A′. On remarque d'ailleurs que si on fait varier C, tout en lui conservant une valeur plus grande que 1, les variations de x et de y sont égales. Par suite si l'appareil a été réglé pour une certaine valeur de O, il conservera son isochronisme pour toute autre valeur de la vitesse, en faisant varier convenablement les poids x et y, soit en ajoutant sur les douilles mobiles, soit en retranchant sur ces douilles des poids égaux et convenablement calculés.

En faisant $C < 1$, la valeur de y devient négative, et l'action de cette force devrait s'exercer de bas en haut, ce qui aurait l'inconvénient d'obliger à ajouter à l'appareil un levier par l'intermédiaire duquel le poids y agirait sur le manchon inférieur. Cet inconvénient peut être évité en plaçant le manchon mobile A′ entre le manchon mobile A″ et le manchon fixe A.

En faisant $C = 1$, la force y est nulle et on a :

$$x = P\frac{L}{l}, \quad \text{et} \quad O^2 = \frac{g}{D}.$$

La douille inférieure devient inutile et peut être supprimée; le dispositif du régulateur sera simplifié. Mais on doit remarquer que ce nouveau régulateur ne conservera son isochronisme pour diverses valeurs de O, qu'à la condition qu'on puisse faire varier D, ce qui est d'ailleurs facile. Si les centres C et C″ sont portés par des doubles leviers à ciseau, fixés à des douilles dont on peut faire varier l'écartement sur l'axe de rotation du régulateur.

L'introduction des poids additionnels x et y dans le régulateur, augmente le moment d'inertie de cet instrument lorsque chaque système se mouvant dans son plan, les boules s'écartent ou se rapprochent de l'axe de rotation. Ce moment d'inertie peut être assez grand pour nécessiter une variation de vitesse telle que, l'inertie une fois vaincue, la force développée par le régulateur soit plus que suffisante pour entretenir la valve en mouvement. Dans ce cas, il se produirait les oscillations à longue période dont il a été parlé au n° 18_3. Pour éviter cet inconvénient grave, M. *Rolland* a construit un nouveau régulateur à boules conjuguées, dans lequel les poids additionnels x et y n'existent pas; nous allons étudier le fonctionnement de ce régulateur.

N° 40, Description du type le plus parfait des régulateurs Rolland à boules conjuguées. — Le régulateur isochrone à boules conjuguées, sans poids additionnels, réalisé par M. *Rolland*, est représenté en épure, *fig.* 23, *pl.* V. Ce régulateur peut se composer d'un nombre quelconque n de systèmes partiels semblables à celui de la figure, pourvu que les plans de ces systèmes passent par l'axe de rotation, fassent entre eux des angles dièdres égaux, et partagent par suite l'espace en parties égales. Voici la légende de cette figure :

Fig. 23,	A′AA″	Axe de rotation du régulateur. Cet axe est vertical.
Pl. V.	A	Douille fixée invariablement à l'axe de rotation.

CA Bras monté sur la douille A et tournant par suite avec l'axe du régulateur. Ce bras porte le centre C autour duquel oscillent les deux leviers coudés à angle droit NCH, N'CH', dont les bras sont d'égale longueur.
A'A″ Douilles mobiles le long de l'axe du régulateur; ces douilles sont guidées par des clavettes longitudinales qui les obligent à tourner avec l'axe.
C'A', C″A″ Bras fixés sur les douilles mobiles A' et A″. Ces bras ont une longueur égale à CA, et les extrémités C' et C″ sont sur la parallèle à l'axe de rotation qui passe par le point C.

Les extrémités N, N', H, H', des leviers coudés à angle droit sont respectivement articulées aux tiges égales NC', N'C', HC″, H'C″, venant elles-mêmes s'articuler deux à deux en C' et C″, de manière à former les losanges C'NCN' et CHC″H'. Les boules du régulateur sont égales, et dans chaque système partiel ces boules sont portées par les bras CN et CH'; les centres des boules sont aux points milieu B et B' de ces bras.

La valve peut être manœuvrée, soit par la douille inférieure A', soit par la douille supérieure A″, soit simultanément par les deux douilles. Ce régulateur fonctionne sans le secours d'aucun ressort ni contre-poids; les deux seules forces en jeu sont la force centrifuge développée sur les boules et le poids de ces boules augmenté du poids de tout le système mobile dans le sens de l'axe de rotation. Cet appareil est, sans contredit, le plus parfait des régulateurs isochrones, tout en restant d'une grande simplicité de construction, ce qui n'est pas un mince avantage quand il s'agit d'instruments aussi délicats, et dont la moindre erreur de fabrication peut rendre le fonctionnement défectueux.

N° 40. Sa subordination à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — Le régulateur *Rolland* à boules conjuguées dont nous venons de parler, est subordonné à l'action de la pesanteur, puisque c'est la seule force qui fasse équilibre à la force centrifuge. D'ailleurs, le poids de la boule B tend à faire baisser le bras CN et par suite le bras CH, avec lequel il est invariablement lié; or, le poids de la boule B' agit précisément dans le même sens.

Représentons par :

P Le poids d'une des boules.
l La longueur des côtés des losanges.
L La distance du centre de gravité de chaque boule à l'axe C d'oscillation des bras $\left(L = \frac{l}{2}\right)$.
D La distance de l'axe d'oscillation C à l'axe de rotation du régulateur.
α L'angle d'inclinaison du bras NC sur la verticale. A cause des angles droits invariables NCH, N'CH', l'inclinaison du bras CH' sur la verticale est toujours mesurée par le complément de l'angle α.
Ω La vitesse angulaire de régime du régulateur.
Q La résistance que la valve oppose au mouvement de chaque système partiel, de telle sorte que s'il y a n systèmes semblables à celui de la *fig.* 23, *pl.* V, la résistance totale que la valve oppose au manchon d'entraînement, mesurée sur l'axe du régulateur, est nQ.
p Le poids du losange supérieur et du bras correspondant C″A″ augmenté de la fraction $\frac{1}{n}$ du poids du manchon supérieur A″, n étant le nombre de parties du régulateur; ce poids p étant d'ailleurs transporté à l'articulation C″.

q Le poids du losange inférieur et du bras correspondant C'A', augmenté de la fraction $\frac{1}{n}$ du poids du manchon inférieur, ce poids q étant d'ailleurs transporté à l'articulation C'. (Nous supposerons que $q=p$.)

g L'accélération de la chute des graves.

K L'écart proportionnel de la vitesse O, de telle sorte que O_1 et O_2 étant les vitesses maxima et minima que la machine ne doit pas dépasser, on a sensiblement $\frac{O_1-O_2}{2O}=K$.

k La fraction de sa valeur dont la vitesse de régime doit varier pour déterminer le fonctionnement du régulateur, de telle sorte que cette vitesse étant O, devient $O(1\pm k)$ au moment où le régulateur met la valve en mouvement.

Quel que soit le nombre de systèmes partiels, l'ensemble du régulateur sera en équilibre et réalisera les conditions d'isochronisme si chaque système partiel est lui-même en équilibre et réalise cette condition. — La force centrifuge développée sur la boule B a pour expression :

$$(1)\qquad f=\frac{P}{g}O^2(D+L\sin\alpha).$$

La force centrifuge développée sur la boule B' a pour expression :

$$f'=\frac{P}{g}O^2(D-L\cos\alpha).$$

En transportant cette force au centre de la boule B, elle devient, en vertu du principe des leviers et en considérant que l'axe de rotation est en C,

$$(2)\qquad f_1'=\frac{P}{g}O^2(D-L\cos\alpha)\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}.$$

Et on aura au centre de la boule B, une force unique égale à la somme des forces (1) et (2), et qui a pour valeur :

$$(3)\qquad F=\frac{PO^2D(\sin\alpha+\cos\alpha)}{g\cos\alpha}.$$

Le poids q qui agit en C', peut être transporté au centre de la boule B avec une valeur $4q$ (n° 36_2, théorème 2), en considérant que $l=2L$. — De même, la force p qui agit en C'', peut être transportée au centre de la boule B' avec une valeur $4p$; de sorte qu'il y aura à ce centre une force $P+4p$, qui, transportée au centre de la boule B, prend une valeur égale à :

$$(P+4p)\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}.$$

La force totale au centre B et dans le sens de la pesanteur, aura donc pour valeur :

$$P_1=P+4q+(P+4p)\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha};$$

ce qui se réduit, en remarquant qu'il est toujours facile de faire en sorte

que $p = q$, ainsi que nous l'avons supposé, à :

$$(4) \qquad P_1 = \frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\sin\alpha}.$$

Les forces F et P_1 seront en équilibre lorsque leur résultante suivra la direction du bras NC, et on aura alors :

$$\frac{F}{P_1} = \tang\alpha;$$

d'où en remplaçant F et P_1 par leurs valeurs (3) et (4),

$$\frac{\frac{P}{g} O^2 D \frac{(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\cos\alpha}}{\frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\sin\alpha}} = \tang\alpha;$$

ce qui se réduit à :

$$(5) \qquad \frac{P}{g} O^2 D = P + 4p.$$

Cette égalité étant indépendante de l'angle α, le régulateur sera isochrone pour la vitesse O, si on fait :

$$(6) \qquad D = g \frac{P + 4p}{PO^2}.$$

Nous avons tenu compte du poids des diverses parties du régulateur, mais nous n'avons pas tenu compte des forces centrifuges développées sur les côtés des deux losanges, parce que la résultante de cette force est nulle dans toutes les positions que peuvent occuper les boules. Nous pouvons vérifier ce fait en appliquant la relation (2), $F = \frac{1}{6} MO^2 (2R - D)$, de II, n° 36_6. Désignons par T le poids d'un des côtés du losange, supposé homogène et d'égale épaisseur; on a :

1° A l'articulation H, la force centrifuge f_1, développée sur les côtés CH et HC'', qui tend à écarter l'articulation H de l'axe, et qui a pour valeur :

$$f_1 = + \frac{2T}{6g} O^2 (D + 2l \cos\alpha).$$

2° A l'articulation H', la force centrifuge f_2, développée sur les côtés CH' et H'C'', qui agit en sens contraire de la première, et qui a pour valeur :

$$f_2 = - \frac{2T}{6g} O^2 (D - 2l \cos\alpha).$$

3° A l'articulation N, la force centrifuge f_3, développée sur les côtés NC et NC', qui agit en sens contraire de la force f_1, et dont la valeur, transportée à l'articulation H est :

$$f_3 = - \frac{2T}{6g} O^2 (D + 2l \sin\alpha) \times \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}.$$

4° A l'articulation N', la force centrifuge f_4, développée sur les côtés N'C et N'C', qui agit dans le même sens que la force f_1, et dont la valeur transportée à l'articulation H est :

$$f_4 = +\frac{2T}{6g}O^2(D - 2l.\sin\alpha) \times \frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}.$$

En ajoutant les quatre forces ci-dessus, on trouve pour résultante sur l'articulation H :

$$f_r = \frac{2T}{6g}O^2\left(\overset{H}{D + 2l\cos\alpha} - \overset{H'}{D + 2l\cos\alpha} - \overset{N}{D\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} - 2l\cos\alpha} + \overset{N'}{D\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha} - 2l\cos\alpha}\right);$$

c'est-à-dire que f_r est égale à zéro.

N° 40$_4$ Son mode de fonctionnement ; sensibilité ; activité. — Pour étudier le mode de fonctionnement du régulateur *Rolland*, il faut faire entrer en ligne de compte la résistance Q que la valve oppose au mouvement de l'action de chaque système partiel. Cette force peut agir en C' par l'intermédiaire du manchon inférieur, ou bien en C'' par l'intermédiaire du manchon supérieur, ou bien enfin partie en C' et partie en C''. Nous remarquerons que dans tous les cas, la résistance Q agit dans le même sens que le poids des boules lorsqu'elles s'écartent de l'axe de rotation, tandis qu'elle agit en sens contraire de ce poids lorsqu'elles se rapprochent de cet axe ; dans le premier cas il y a accélération, dans le second cas, ralentissement du mouvement de rotation.

1° Si la force Q agit en C', cette force peut être transportée au centre de la boule B avec une valeur 4Q, et la force P_1 donnée par l'égalité (4) du n° 40$_3$ devient :

$$P_1 = \frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha) \pm 4Q\sin\alpha}{\sin\alpha}.$$

La vitesse O étant devenue $O(1 \pm k)$, la condition d'équilibre, au moment où la valve est sur le point d'être mise en mouvement, est, en remplaçant O^2 par $O^2(1 \pm k)^2$ dans l'égalité (2) du n° 40$_3$:

$$\frac{\frac{P}{g}O^2(1 \pm k)^2 D\frac{(\sin\alpha + \cos\alpha)}{\cos\alpha}}{\frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha) \pm 4Q\sin\alpha}{\sin\alpha}} = \text{tang}\,\alpha;$$

d'où :

(a) $$\frac{P}{g}O^2D(1 \pm k)^2 = P + 4p \pm \frac{4Q\sin\alpha}{\sin\alpha + \cos\alpha}.$$

Les signes + servant pour l'accélération, et les signes — pour le ralentissement. — Comme l'isochronisme a été établi par la condition (5) (n° 40$_3$), $\frac{P}{g}O^2D = P + 4p$, l'équation ci-dessus devient :

$$(P + 4p)[(1 \pm k)^2 - 1] = \pm\frac{4Q\sin\alpha}{\sin\alpha + \cos\alpha}.$$

En effectuant, et en négligeant le terme k^2 qui est assez petit, on a :

$$k = \frac{2Q}{P + 4p} \times \frac{1}{1 + \text{cotang}\,\alpha}. \tag{1}$$

Dans cette valeur de k, l'angle α est la seule quantité variable, car nous supposons que Q reste constant.

S'il se produit une accélération, α augmente et cotang α diminue; il en résulte un accroissement de la valeur de k. S'il se produit un ralentissement, α diminue et cotang α augmente; il en résulte une diminution de la valeur de k. Ainsi, dans les conditions actuelles, la valve étant conduite par le manchon inférieur A', la sensibilité du régulateur varie en sens contraire de l'angle α; c'est-à-dire que ce régulateur est d'autant plus sensible que ses boules sont plus rapprochées de l'axe de rotation, et de plus, pour une valeur donnée de α, le régulateur est plus sensible lors d'un ralentissement que lors d'une accélération.

Dans la pratique, en raison de la résistance au départ de la valve, et de l'inertie des pièces de sa transmission de mouvement, la valeur de k devra toujours être plus grande que celle que nous avons déterminée. En marche, cette résistance et cette inertie diminuent; l'excès de force dont se trouve alors nanti le régulateur peut être annulée par l'augmentation de k nécessaire pour entretenir le mouvement de ce régulateur s'il y a augmentation de la vitesse angulaire; mais s'il se produit un ralentissement, l'excès de force dont est nanti le régulateur dès que la valve est en marche, augmente par suite de la diminution de k.

Il résulte de ces considérations que le régulateur peut bien prendre sa position d'équilibre lors d'une accélération, mais qu'il n'en est pas de même lors d'un ralentissement. Dans ce dernier cas, son activité est trop grande, et comme il n'existe pas de frein, la valve sera portée dans sa position extrême d'ouverture en grand, et au ralentissement que le régulateur vient de corriger, succédera une accélération à la suite de laquelle le régulateur fermera graduellement la valve jusqu'à ce que la vitesse ait repris sa valeur de régime. Il se produira ainsi une double oscillation à chaque période de ralentissement, le régulateur ne pouvant prendre sa position d'équilibre que lors d'une accélération.

Le terme k^2, que nous avons négligé dans les calculs, ne changerait pas la nature des résultats trouvés, car ces résultats se déduisent aussi, mais avec moins de simplicité, de l'équation (a), dans laquelle le terme k^2 existe.

2° Si la résistance Q agit sur l'articulation C'' par l'intermédiaire du manchon supérieur, cette force peut être transportée au centre de la boule B' avec une valeur 4Q, et de là, au centre de la boule B avec une valeur $4Q\,\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$; par suite, la valeur de la force (4) du n° 40, devient :

$$P_1 = \frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha) \pm 4Q\cos\alpha}{\sin\alpha}.$$

Et la condition d'équilibre sera :

$$\frac{\frac{P}{g} O^2D(1 \pm k)^2 \left(\frac{\sin\alpha + \cos\alpha}{\cos\alpha}\right)}{\frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha) \pm 4Q\cos\alpha}{\sin\alpha}} = \operatorname{tang}\alpha;$$

d'où :

$$(b) \qquad \frac{P}{g} O^2D(1 \pm k)^2 = P + 4p \pm \frac{4Q\cos\alpha}{\sin\alpha + \cos\alpha}.$$

L'isochronisme étant établi par la condition (5) (n° 40_2), $\frac{P}{g} O^2D = P + 4p$, l'équation ci-dessus devient :

$$(P + 4p)[(1 \pm k)^2 - 1] = \pm \frac{4Q\cos\alpha}{\sin\alpha + \cos\alpha}.$$

En effectuant et en négligeant le terme k^2 qui est assez petit, il vient :

$$(2) \qquad k = \frac{2Q}{P + 4p} \times \frac{1}{1 + \operatorname{tang}\alpha}.$$

Dans cette valeur de k, la seule variable est encore l'angle α.

S'il se produit une accélération, α augmente, tang α devient plus grand, et il en résulte une diminution de la valeur de k; s'il se produit un ralentissement, α diminue, tang α devient plus petit, et il en résulte une augmentation de la valeur de k. Dans ces conditions, la sensibilité du régulateur est d'autant plus grande que les boules sont plus écartées de l'axe de rotation; son activité peut être très-grande sans être exagérée, lorsqu'il se produit un ralentissement, mais elle est certainement trop grande lors d'une accélération. Dans ce dernier cas, la valve sera brusquement portée dans sa position extrême de fermeture complète, et à l'accélération que le régulateur aura corrigée, succédera un ralentissement à la suite duquel le régulateur ouvrira graduellement la valve jusqu'à ce que la vitesse ait repris sa valeur de régime. Il se produira ainsi une double oscillation à chaque période d'accélération, le régulateur ne pouvant prendre sa position d'équilibre que lors d'un ralentissement. — Ces mêmes conséquences peuvent être déduites, mais avec moins de simplicité, sans la suppression du terme k^2, de l'équation (*b*) ci-dessus.

Dans chacun des deux cas que nous venons d'examiner, l'*activité* du régulateur est trop développée pour un sens de la variation de la vitesse de régime : pour le ralentissement si c'est le manchon inférieur qui conduit la valve, et pour l'accélération si cette valve est conduite par le manchon supérieur. En pratique, il est avantageux que la valve soit conduite par ce dernier manchon. En effet, les boules s'élèvent lorsqu'à la suite d'une accélération ces boules s'écartent de l'axe de rotation, et la pesanteur développe sur elles un travail résistant qui diminue l'*activité* du régulateur, et peut même empêcher cet instrument de devenir instable, en lui permettant de prendre sa position d'équilibre avant que la valve soit complétement fermée. Lors d'un ralentissement, les boules se rapprochent de l'axe

de rotation dès que la valve est mise en mouvement; ces boules s'abaissent, et la pesanteur développe sur elles un travail moteur qui augmente l'*activité* du régulateur. Les effets contraires se produisent lorsque la valve est conduite par le manchon inférieur, c'est-à-dire que le travail développé par la pesanteur sur les boules diminue l'activité du régulateur lorsqu'il se produit une accélération, et augmente cette activité, déjà trop grande, lorsqu'il se produit un ralentissement.

3° Si les deux manchons agissent en même temps pour manœuvrer la valve, les effets de sens contraires que la variation de α produit sur la valeur de k, peuvent s'annuler, et le régulateur peut ainsi acquérir une grande activité dans les deux sens de son oscillation sans devenir instable. Remarquons qu'en raison de la différence des chemins qu'ils parcourent le long de l'axe, les deux manchons ne peuvent supporter une égale part de la résistance Q; mais nous admettrons qu'ils transmettent des travaux égaux. En représentant par a une augmentation infiniment petite de l'angle α, les chemins faits par les deux manchons, sont :

Pour le manchon inférieur $b = 2l[\cos\alpha - \cos(\alpha + a)]$,
Pour le manchon supérieur $h = 2l[\sin(\alpha + a) - \sin\alpha]$.

En développant et en considérant $\cos a$ comme égal à 1, on a :

$$b = 2l \sin a \sin\alpha,$$
$$h = 2l \sin a \cos\alpha;$$

d'où :

$$\frac{b}{h} = \operatorname{tang}\alpha.$$

Soit x la force agissant sur le manchon supérieur et y la force agissant sur le manchon inférieur; on doit avoir pour l'égalité des travaux admise ci-dessus :

$$by = hx, \quad \text{ou} \quad \frac{b}{h} = \frac{x}{y};$$

d'où, en remarquant que $x + y = Q$:

$$x = Q \times \frac{b}{b+h}, \quad y = Q \times \frac{h}{b+h};$$

et en remplaçant b par sa valeur $h \operatorname{tang}\alpha$, il vient :

$$x = Q \times \frac{\operatorname{tang}\alpha}{1 + \operatorname{tang}\alpha}; \quad y = Q \times \frac{1}{1 + \operatorname{tang}\alpha}.$$

La force y se transporte au centre de la boule B avec une valeur $4y$; la force x se transporte au centre de la boule B' avec une valeur $4x$, et au centre de la boule B avec une valeur $4x\frac{\cos\alpha}{\sin\alpha}$. La valeur de la force (4) n° 40$_3$ devient donc :

$$P_1 = \frac{(P + 4p)(\sin\alpha + \cos\alpha) \pm 4y \sin\alpha \pm 4x \cos\alpha}{\sin\alpha}.$$

Et on a pour condition d'équilibre :

$$\frac{\frac{P}{g}O^2D(1\pm k)^2\frac{\sin\alpha+\cos\alpha}{\cos\alpha}}{\frac{(P+4p)(\sin\alpha+\cos\alpha)\pm 4y\sin\alpha\pm 4x\cos\alpha}{\sin\alpha}}=\text{tang}\,\alpha;$$

d'où :

$$(c)\qquad \frac{P}{g}O^2D(1\pm k)^2=P+4p\pm\frac{4y\sin\alpha+4x\cos\alpha}{\sin\alpha+\cos\alpha}.$$

Et comme l'isochronisme est établi par la condition (5) n° 40_2, $\frac{P}{g}O^2D=P+4p$, il vient :

$$(P+4p)[(1\pm k)^2-1]=\pm\frac{4y\sin\alpha+4x\cos\alpha}{\sin\alpha+\cos\alpha}.$$

Si on développe $(1\pm k)^2$ et qu'on néglige k^2 qui est assez petit; si d'un autre côté, on remplace y et x par leurs valeurs :

$$x=Q\times\frac{\text{tang}\,\alpha}{1+\text{tang}\,\alpha},\qquad y=Q\times\frac{1}{1+\text{tang}\,\alpha},$$

il vient :

$$k(P+4p)=\frac{2Q}{1+\text{tang}\,\alpha}\times\frac{\sin\alpha+\text{tang}\,\alpha\cos\alpha}{\sin\alpha+\cos\alpha}.$$

En remplaçant $\text{tang}\,\alpha$ par sa valeur $\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$, et en effectuant, il vient :

$$k(P+4p)=\frac{2Q}{1+\frac{1}{\sin 2\alpha}};$$

d'où :

$$(3)\qquad k=\frac{2Q}{P+4p}\times\frac{1}{1+\frac{1}{\sin 2\alpha}}.$$

Or, $\sin 2\alpha$ est maximum lorsque $\alpha=45°$, et c'est alors que k prend sa plus petite valeur, et que par suite la *sensibilité* du régulateur est maximum. En prenant 45° pour valeur moyenne de l'angle α, toute variation de cet angle produira une augmentation de k, très-faible, il est vrai, mais suffisante pour que le régulateur ne soit pas instable.

Lorsque l'angle α aura une valeur plus grande ou plus petite que 45 degrés et qu'il se produira une variation de vitesse qui tendra à rapprocher cet angle de 45°, le régulateur agira avec une grande activité; mais dès que l'angle α sera égal à 45°, cette activité diminuera.

On remarquera que $b=h\,\text{tang}\,\alpha$, quelle que soit la valeur de α; et qu'il peut, par suite, être difficile de faire conduire la valve par deux manchons qui, non-seulement parcourent des chemins élémentaires inégaux, mais parcourent des chemins dont le rapport change à chaque instant avec la valeur de l'angle α. On peut cependant obtenir ce résultat de la manière

suivante : la valeur moyenne de l'angle α étant de 45°, les deux manchons auront une course totale de même longueur et seront à la même distance l'un de l'autre dans les deux positions extrêmes du régulateur ; cette distance étant variable pour les positions intermédiaires. Ceci posé, si l'on articule un levier sur chacun des manchons et que ces deux leviers d'égale longueur se joignent sur une articulation commune, cette articulation décrira, dans l'amplitude complète des oscillations du régulateur, une certaine courbe, mais pourra recevoir une bielle dont le pied sera sur le levier ou sur un des leviers de manœuvre de la valve, ce levier étant perpendiculaire à l'axe du régulateur lorsque $\alpha = 45°$. Les deux leviers articulés sur les manchons peuvent avoir une forme quelconque et être par exemple, suffisamment arrondis pour livrer passage au régulateur ; ces leviers, ainsi que la bielle de transmission, peuvent d'ailleurs être équilibrés.

N° 40_6 Détermination de ses éléments. — La condition d'isochronisme établie par la relation (5), n° 40_3, est :

$$\frac{P}{g} O^2 D = P + 4p.$$

On a, de plus, en remplaçant la variation k de vitesse nécessaire pour mettre le régulateur en mouvement par la valeur K de l'écart proportionnel de la vitesse de régime, les égalités (1), (2) et (3) du n° 40_4, qui donnent, en supposant $\alpha = 45°$:

$$K = \frac{Q}{P + 4p}, \quad \text{d'où :} \quad P + 4p = \frac{Q}{K};$$

et par suite :

$$P = \frac{Q}{K} - 4p.$$

Il est facile de voir que tous les éléments d'un régulateur à boules conjuguées ne sauraient être déterminés par un calcul élémentaire, car il y a dans les égalités ci-dessus plus de variables que d'équations. Pour arriver à la valeur du poids P de chaque boule, il faut mesurer ou se donner les éléments suivants :

1° Le nombre n de systèmes partiels dont se composera le régulateur. Il est avantageux que ce nombre soit grand pour diminuer le poids de chaque boule et, par suite, son diamètre, ce qui permet de faire L très-petit et de diminuer, par suite, l'inertie de l'instrument dans son plan d'oscillation ; en pratique, à moins que la résistance de la valve soit considérable, le nombre 4 suffit ;

2° La valeur de k, qui ne doit pas être inférieure à celle qui a servi pour calculer le poids du volant, afin que le régulateur ne soit pas influencé par les variations périodiques de la vitesse qui se produisent pendant la durée d'un tour ;

3° La valeur de la résistance Q pour chacun des systèmes partiels dont se compose le régulateur, et qui est égale à la fraction $\frac{1}{n}$ de la résistance

totale de la valve estimée dans la direction même de l'axe de rotation du régulateur ;

4° L'amplitude totale de l'oscillation du régulateur, qu'il y aurait avantage à prendre aussi grande que possible, ce qui permettrait de faire transmettre l'action des boules par un grand levier, afin de diminuer la valeur de la résistance Q estimée suivant l'axe du régulateur. Dans la pratique, la valeur de cette amplitude totale vaut en moyenne 40 degrés;

5° Les dimensions et, par suite, les poids des losanges, des manchons mobiles et de leurs bras, ces derniers étant calculés eu égard à la valeur de Q. Les boules étant placées aux milieux des bras, il y aurait avantage à faire ces bras aussi courts que possible, car le moment d'inertie de chaque boule étant proportionnel à $\frac{P}{g} L^2$, ce moment varie comme P et comme le carré de L. On est limité par la nécessité de conserver une place suffisante pour les boules qui ont toujours un diamètre assez grand.

6° La valeur de D qu'il faut prendre assez grande pour que, lorsque α atteint sa plus grande valeur, l'articulation N′ ne rencontre pas l'axe de rotation du régulateur. La valeur maxima de D n'est pas limitée; mais des égalités ci-dessus, on tire :

$$\frac{P}{g} \omega^2 D = \frac{Q}{R},$$

ce qui montre qu'il est avantageux de donner à D une grande valeur pour diminuer la valeur de P. Dans la pratique, il suffit largement que la valeur de D soit égale à une fois et demie la longueur du côté d'un des losanges;

7° La valeur de p, c'est-à-dire de la force résultant aux articulations C′ et C″ du poids de chaque losange et du manchon mobile correspondant armé de son bras. On remarquera que d'après les théorèmes 2 et 3 du n° 36_2, les poids des losanges transportés aux articulations C′ et C″ sont représentés par le poids de deux seulement de leurs côtés, et qu'à ce poids il faut ajouter celui du bras correspondant du manchon mobile et la portion $\frac{1}{n}$ du poids de ce manchon.

En pratique, on commencera par déterminer le poids de chaque boule par l'égalité $P = \frac{Q}{K}$, en négligeant le terme $4p$, afin de déterminer le diamètre correspondant de la boule et par suite la dimension minima que pourra avoir le côté des losanges pour que cette boule trouve sa place sans empiéter sur les articulations, et sans être touchée par le côté adjacent du losange dans les positions extrêmes d'oscillation du régulateur. L'épure du régulateur pouvant ainsi être faite, le régulateur sera construit en donnant aux côtés des losanges les mêmes dimensions, pour qu'ils aient le même poids, et en donnant également le même poids aux manchons mobiles armés de leurs bras. On aura ainsi le moyen de mesurer directement la valeur de p et de porter cette valeur dans l'égalité :

$$P = \frac{Q}{K} - 4p,$$

pour déterminer exactement le poids de chaque boule. Il ne restera plus qu'à régler la vitesse de régime du régulateur donnée par l'égalité :

$$O^2 = \frac{(P + 4p)g}{PD}.$$

On réalisera cette vitesse au moyen d'une transmission de mouvement dans un rapport convenable, et qu'il est facile de déterminer d'après le nombre de tours de la machine; car si le régulateur doit faire N tours par minute, on doit avoir :

$$\frac{2\pi N}{60} = O; \quad \text{d'où} \quad N = \frac{O \times 60}{2\pi}.$$

N° 40_6 Conclusions pour l'emploi des régulateurs Rolland à boules conjuguées. —Le régulateur dont nous venons de nous occuper est sans contredit le plus simple et le plus parfait des régulateurs isochrones. L'absence de toute espèce de ressort lui assure un fonctionnement régulier et presque inaltérable; d'un autre côté, la plupart de ses éléments se déduisent plutôt de l'expérience que du calcul, de telle sorte qu'il devient facile de corriger les erreurs inévitables de poids qui se produisent pendant la construction. Si le régulateur *Rolland* doit être appliqué sur une machine armée d'un volant puissant et, dans laquelle les variations de vitesse se produisent lentement, on pourra se contenter de faire conduire la valve par le manchon supérieur; mais si l'on se propose d'obtenir un mouvement aussi uniforme que possible et surtout dans le cas où les variations de vitesse peuvent être brusques, il faut employer les deux manchons à conduire la valve. On aura alors un régulateur d'une grande sensibilité et doué de beaucoup d'activité, tout en évitant les oscillations à longue période occasionnées par les régulateurs isochrones qui ont les qualités ci-dessus assez développées. Tel que nous venons de l'étudier, le régulateur *Rolland* n'est réglé que pour une vitesse déterminée de régime, mais rien n'empêche de lui conserver la même allure en changeant celle de la machine et cela au moyen d'un système de transmission de rapport variable et qu'il est facile d'imaginer, au moyen par exemple, de poulies étagées. Il ne faut pas perdre de vue toutefois, que le nombre de changements possibles est très-limité. Sa subordination à l'action de la pesanteur ne permet pas de l'appliquer aux machines marines, parce que son fonctionnement serait troublé dans les mouvements de roulis et de tangage; d'ailleurs, quoiqu'on puisse porter le nombre de systèmes partiels à un chiffre assez élevé, 8 par exemple, il est probable que ce régulateur ne pourrait être employé pour les machines de 500 à 1000^{ch} nominaux, sans l'intermédiaire d'un moteur spécial de manœuvre de la valve et dont il réglerait la marche.

N° 41. — 1. Solution du problème de l'isochronisme à l'aide de ressorts due à M. Foucault : description de l'instrument. — 2. Son indifférence à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — 3. Son mode de fonctionnement : sensibilité ; activité. — Détermination de ses éléments. — 5. Conclusions pour son emploi.

N° 41_1 Solution du problème de l'isochronisme à l'aide de ressorts due à M. Foucault : description de l'instrument. — M. *Foucault* a construit un régulateur isochrone dans lequel la résultante des actions de la pesanteur sur les boules est nulle, et il a employé des ressorts pour équilibrer la force centrifuge. Cet instrument n'est, en dernière analyse, qu'un régulateur de Watt renversé, de sorte que les boules sont portées par les bielles au lieu d'être portées par les bras ; de plus, la distance du centre de chaque boule à l'articulation de la bielle correspondante est double de la longueur de cette bielle. Ce régulateur est représenté en épure *fig.* 24, *pl.* V ; il comporte les pièces suivantes :

Fig. 24, Pl. V.

- A Axe de rotation du régulateur; cet axe est vertical.
- B Boules pesantes placées aux extrémités des bielles.
- C Manchon fixé sur l'axe du régulateur; ce manchon porte les articulations des bras CD.
- M Manchon mobile pouvant glisser le long de l'axe du régulateur, mais étant obligé de tourner avec lui. Ce manchon porte les articulations des bielles.
- CD Bras égaux du régulateur.
- MB Bielles. La longueur MB est double de MD et par suite de CD ; il en résulte que les centres des boules se trouvent constamment sur la normale à l'axe du régulateur qui passe par l'articulation C des bras. De plus, d'après le *théorème* 3 du n° 36_2, la résultante de l'action de la pesanteur sur les boules est nulle.
- N Grande traverse clavetée sur l'axe du régulateur, dans le plan d'oscillation de cet instrument et en dessous des boules ; cette traverse tourne avec l'axe du régulateur.
- n Montants fixés à l'extrémité de la traverse N et parallèlement à l'axe du régulateur.
- n' Petites traverses fixées sur les montants n. Ces petites traverses sont perpendiculaires au plan de l'axe du régulateur et de la traverse N, et à la hauteur des centres des boules.
- E Ressorts à boudin destinés à équilibrer la force centrifuge développée sur les boules. Chaque boule est munie de deux ressorts fixés, d'une part, aux extrémités du diamètre perpendiculaire au plan d'oscillation, et d'autre part, aux extrémités de la traverse n' qui se trouve de l'autre côté de l'axe du régulateur. Les quatre ressorts sont dans le même plan ; chacun des crochets d'attache sur la boule de gauche porte un œil dans lequel passe le ressort correspondant de la boule de droite. La tension des ressorts est déterminée pour que cette tension fasse équilibre à la force centrifuge dans toutes les positions que peuvent occuper les boules. Cette tension est d'ailleurs toujours directement opposée à la force centrifuge.

N° 41_2 Son indifférence à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — Il résulte de la dispostion adoptée par M. *Foucault* que les centres des boules se meuvent sur la perpendiculaire à l'axe qui passe par le centre d'oscillation des bras. De plus abstraction faite du poids des tringles, que l'on peut d'ailleurs équilibrer, le centre de gravité du système formé par les deux boules reste toujours à la même hauteur sur l'axe de rotation, que que soit l'écartement des

boules et quelle que soit l'inclinaison de l'axe du régulateur par rapport à la verticale. Il en résulte que ce régulateur est indifférent à l'action de la pesanteur.

Le poids des boules n'agissant pas pour faire équilibre à la force centrifuge, son action est remplacée, pour chaque boule, par celle de deux ressorts agissant suivant la ligne des centres des boules. La tension des deux ressorts doit être égale à la force centrifuge développée sur cette boule, quelle que soit la position du régulateur; si cette condition n'était pas remplie, les boules prendraient immédiatement l'une ou l'autre leurs positions extrêmes.

Représentons par (*fig.* 24, *pl.* V) :

- P Le poids d'une boule.
- g L'accélération de la chute des graves.
- D La distance commune à l'axe de rotation des articulations des bras et des bielles avec leur manchon respectif.
- L La distance du centre de gravité de chaque boule à l'articulation de la bielle qui la porte.
- O La vitesse angulaire.
- α L'angle d'inclinaison de la bielle sur l'axe.
- E La tension du ressort de chaque boule.
- e Le coefficient de tension du ressort, ou sa variation de tension par unité de longueur d'allongement ou de raccourcissement.
- K L'écart proportionnel de vitesse, c'est-à-dire la fraction de O pour laquelle les boules prennent l'une ou l'autre de leurs positions extrêmes.
- k La fraction de sa valeur dont la vitesse de régime doit varier pour mettre le régulateur en mouvement.
- Q La résistance que la valve oppose au manchon d'entraînement, cette résistance étant mesurée suivant l'axe du régulateur.

La force centrifuge développée sur chaque boule a pour expression :

$$\frac{P}{g}O^2(D + L\sin\alpha).$$

Et la condition d'équilibre est établie lorsque

$$\frac{P}{g}O^2(D + L\sin\alpha) = E.$$

Pour que le régulateur soit isochrone, il faut qu'on ait :

$$\frac{E}{D + L\sin\alpha} = \text{constante} = \frac{P}{g}O^2.$$

Lorsque $\alpha = 0$, on a :

$$\frac{P}{g}O^2 = \frac{E}{D}; \quad \text{d'où :} \quad \frac{P}{g}O^2 D = E.$$

C'est-à-dire que la tension du ressort devrait être égale à la force centrifuge développée par la boule à la distance D de l'axe de rotation. De là, la nécessité des supports d'attache, afin que les ressorts aient une longueur suffisante pour satisfaire à cette condition.

La variation de la tension du ressort, quand l'angle d'inclinaison du bras sur l'axe passe de la valeur zéro à la valeur α, est :

$$\frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha) - \frac{P}{g} O^2 D = \frac{P}{g} O^2 L \sin \alpha.$$

L'allongement correspondant du ressort étant $L \sin \alpha$, son coefficient de tension, c'est-à-dire sa variation de tension par unité d'allongement ou de raccourcissement, est :

(1) $$e = \frac{P}{g} O^2.$$

N° 41, Son mode de fonctionnement : sensibilité ; activité. — Si la vitesse varie et qu'elle devienne $O \pm Ok = O(1 \pm k)$, la force centrifuge développée sur chaque boule sera :

$$F' = \frac{P}{g} O^2(1 \pm k)^2(D + L \sin \alpha).$$

Le signe + servant pour l'accélération, et le signe — pour le ralentissement.

Avant la variation de vitesse, cette force avait pour valeur :

$$F = \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha).$$

Il devient donc disponible pour manœuvrer la valve, une force qui a pour valeur :

$$F_1 = \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha)[(1 \pm k)^2 - 1].$$

En effectuant $(1 \pm k)^2$, et en négligeant k^2 qui est assez petit, on a :

$$F_1 = \pm 2k \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha).$$

Et cette force qui agit au centre de la boule, peut être transportée à l'articulation du bras avec la bielle où elle prend une valeur $2F_1$, puisque $MB = 2MD$.

La résistance $\pm Q$ que la valve oppose au manchon d'entraînement, peut-être remplacée par deux forces égales à Q et appliquées aux articulations D. — La valve sera mise en mouvement, abstraction faite de l'inertie et des frottements, lorsqu'on aura :

$$\frac{2F_1}{\pm Q} = \tang \alpha,$$

ou :

$$\pm 4k \frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha) = \pm Q \tang \alpha;$$

ce qui peut se mettre sous la forme :

$$4k\frac{P}{g}O^2\left(\frac{D}{\sin\alpha}+L\right)\cos\alpha=Q;$$

d'où :

(1) $$k=\frac{Q}{\frac{4P}{g}O^2\left(\frac{D}{\sin\alpha}+L\right)\cos\alpha}.$$

S'il se prôduit une accélération, α et $\sin\alpha$ augmentent dès que la valve est mise en marche, tandis que $\cos\alpha$ diminue; par suite, k doit augmenter pour entretenir le mouvement. — S'il se produit un ralentissement, α et $\sin\alpha$ diminuent dès que la valve est mise en mouvement, tandis que $\cos\alpha$ augmente; par suite, k doit diminuer.

Il résulte de ces considérations que la sensibilité du régulateur est variable avec la valeur de l'angle α, et que cette sensibilité diminue à mesure que les boules s'écartent de l'axe de rotation. D'un autre côté, le régulateur *Foucault* est exactement dans les mêmes conditions que le régulateur *Rolland* (n° 40_3); c'est-à-dire que son activité peut être suffisante lorsqu'il se produit une accélération, et que cette activité est trop grande lorsqu'il se produit un ralentissement. A cette dernière circonstance, qui tend à produire des oscillations à longue période, se joignent, en pratique, les effets de l'inertie de la valve, d'où résulte un surcroît de variation de la force centrifuge dont le régulateur se trouve nanti, sans en avoir l'emploi, dès que la valve est mise en mouvement. Par suite, toutes les fois qu'il se produira un ralentissement, la valve sera brusquement ouverte en grand, et il se produira une variation de vitesse en sens contraire à la suite de laquelle la valve réduira peu à peu le passage de la vapeur, jusqu'à ce que l'équilibre soit de nouveau rétabli. Mais comme la variation de vitesse nécessaire pour entretenir la valve en mouvement augmente avec la valeur de l'angle α, le régulateur prendra toujours sa position d'équilibre à une vitesse un peu supérieure à la vitesse de régime; l'écart sera d'autant plus grand que l'angle α sera lui-même plus grand. — Ajoutons en terminant, que la résistance due à l'inertie de la valve a pour effet de diminuer la sensibilité du régulateur dans les deux sens de son oscillation, mais que la vivacité est augmentée.

N° 41_4 Détermination de ses éléments. — Pour déterminer les éléments de ce régulateur, il faut connaître la vitesse de régime de la machine et la résistance Q que ce régulateur doit vaincre pour manœuvrer la valve. On se donne :

1° L'angle α d'inclinaison moyenne des bras sur l'axe de rotation, ainsi que les variations de cet angle.

2° Les dimensions D et l, et par suite L qui est double de l.

3° La valeur K de l'écart proportionnel de vitesse. Cette valeur de K ne doit pas être inférieure à celle qui a servi au calcul du volant, afin que le régulateur ne soit pas influencé par les variations périodiques de la vitesse qui se produisent pendant la durée d'un tour.

De l'égalité (1) du n° 41_2, on tire, en remplaçant k par K :

$$P = \frac{Qg}{4KO^2\left(\frac{D}{\sin\alpha} + L\right)\cos\alpha},$$

ce qui permet de calculer le poids d'une boule. La valeur de la résistance Q que la valve oppose au manchon d'entraînement, doit être mesurée avec un dynamomètre, et dans le sens même de l'axe du régulateur, après avoir établi les transmissions de mouvement nécessaires, et autant que possible quand la machine est en marche.

On remarque que la valeur de P est d'autant plus faible que l'angle α est plus petit; il y a donc avantage à réduire la valeur de l'angle α au strict nécessaire. D'un autre côté, la valeur de P varie en raison inverse de O^2; il est donc avantageux de donner à O une grande valeur, au moyen d'un multiplicateur placé sur la transmission de mouvement de la machine au régulateur.

Le coefficient de tension des ressorts est déterminé par l'égalité (1) du n° 41_2 :

$$e = \frac{P}{g} O^2.$$

La longueur du ressort non tendu doit être égale à la distance de l'axe de rotation au point d'attache sur le montant; en effet, lorsque $\alpha = 0$, la tension du ressort est $\frac{P}{g} O^2 D$; et en divisant par $e = \frac{P}{g} O^2$, on trouve que le raccourcissement nécessaire pour amener le ressort à une tension nulle est égal à D. — La distance des montants d'attache des ressorts à l'axe de rotation doit être réglée pour que les boules ne les atteignent pas, lorsque l'angle α prend sa plus grande valeur.

N° 41_3 Conclusions pour son emploi. — Le régulateur dont il vient d'être question est indifférent à l'action de la pesanteur qui n'a aucune influence sur son fonctionnement, même lorsque son axe n'est pas vertical. En armant la machine d'un fort volant, on peut donner au poids des boules une valeur telle que ce régulateur ait une grande sensibilité. Mais cet instrument présente, dans son mode de fonctionnement, un inconvénient sérieux, et qu'on ne pourrait faire disparaître qu'en augmentant considérablement les résistances passives; c'est son excès *d'activité* lorsqu'il se produit un ralentissement. Pour de petites machines, cet inconvénient peut passer inaperçu, grâce aux frottements; mais pour une machine puissante, la résistance de la valve serait très-grande, et l'inertie de cette valve occasionnerait une telle augmentation de la variation de vitesse nécessaire pour mettre le régulateur en mouvement, que la valve serait brusquement ouverte en grand à chaque période de ralentissement. Le régulateur occasionnerait ainsi de lui-même des variations brusques de la vitesse, très-préjudiciables au bon fonctionnement de l'appareil moteur.

D'un autre côté, dès que la tension du ressort est réglée pour une vitesse déterminée, ce régulateur ne permet pas de changer l'allure de la machine à moins de remplacer les ressorts, ce qui n'est pas pratique. Toutefois, il serait possible de conserver au régulateur la même vitesse angulaire pour un certain nombre d'allures différentes et déterminées de la machine, au moyen d'une transmission par courroie sur des poulies étagées.

En résumé, ce régulateur ne saurait être employé dans les machines marines à régler le nombre de tours et maintenir un régime constant. Il serait même dangereux de l'appliquer pour limiter le nombre maximum de tours que la machine pourra atteindre, parce qu'à cause de sa trop grande activité lors d'un ralentissement, la valve pourrait être brusquement ouverte en grand au moment d'une forte émersion de l'hélice, et il en résulterait des chocs considérables et compromettants pour la sécurité de l'appareil moteur.

N° 42. — 1. Autre solution du problème de l'isochronisme à l'aide de la pesanteur et de ressorts due à M. Foucault : description de l'instrument. — 2. Sa subordination à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — 3. Son mode de fonctionnement : sensibilité; activité. — 4. Détermination de ses éléments. — 5. Conclusions pour son emploi.

N° 42$_1$ Autre solution du problème de l'isochronisme à l'aide de la pesanteur et de ressorts due à M. Foucault : description de l'instrument. — Pour éviter les oscillations à longue période occasionnées par l'instabilité du régulateur précédent, *M. Foucault* a imaginé une autre solution du problème de l'isochronisme à l'aide de la pesanteur combinée avec l'action d'un ressort, et en utilisant, pour manœuvrer la valve, la force d'inertie des boules dans leur plan de rotation. Cette deuxième solution est représentée par la *fig.* 11, *pl.* VI, dont voici la légende :

A Axe du régulateur recevant son mouvement de rotation de l'arbre moteur au moyen d'un système d'engrenages. Fig. 11, Pl. VI.

A' Partie filetée de l'axe du régulateur et à laquelle le manchon d'entraînement sert d'écrou. Cette vis a un quadruple filet carré, de pas très-allongé ; c'est par l'intermédiaire de cette vis et du manchon M que le régulateur est entraîné dans le mouvement de rotation de son axe.

A_1 Douille servant d'appui au régulateur et portant à sa partie inférieure, en m, les axes d'oscillation des bras. La partie supérieure de la douille A_1 n'est pas percée et repose sur le sommet de l'axe du régulateur ; ce dernier pénètre à frottement doux par la partie inférieure, et reçoit une rondelle a goupillée sur cet axe, et qu'on introduit par une fenêtre rectangulaire ménagée dans la douille A_1.

a Rondelle goupillée sur l'axe du régulateur et qui empêche la douille A_1 de se soulever.

a' Petite embase qui termine la partie filetée de l'axe du régulateur et qui sert d'arrêt au manchon M.

B Deux boules égales soumises, d'une part, à l'action de la force centrifuge qui tend à les écarter, et, d'autre part, à l'action de leur poids et à celle du ressort E qui tendent à les rapprocher.

b, b Bras du régulateur sur les prolongements inférieurs desquels sont placées les boules



B, B. Les axes d'oscillation de ces bras sont portés par la partie inférieure m de la douille A_1.

b_1, b_1 Bielles du régulateur dont la longueur est égale à celle des bras; les articulations inférieures de ces bielles sont sur la partie m_1 du manchon d'entraînement, et à une distance de l'axe du régulateur égale à celle des centres d'oscillation des bras à ce même axe.

E Ressort dont l'action s'ajoute à celle de la pesanteur pour faire équilibre à la force centrifuge des boules.

e, e Leviers montés sur les boules et dont les extrémités servent de point d'attache au ressort E.

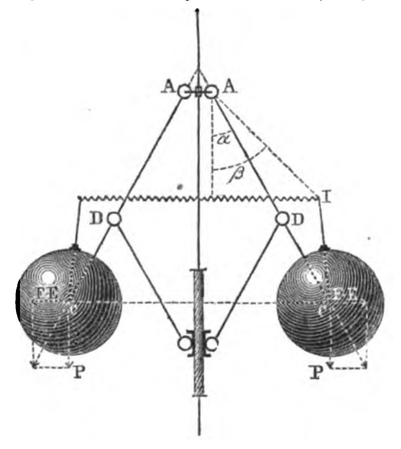
M Manchon d'entraînement de la valve. Ce manchon forme l'écrou de la partie filetée de l'axe A du régulateur, de telle sorte que les boules ne peuvent se rapprocher ou s'écarter de l'axe sans que le manchon tourne sur sa vis, en s'abaissant ou en s'élevant. Toutes les fois que le manchon M éprouve un déplacement angulaire par rapport à l'axe du régulateur, tout le système de ce régulateur doit éprouver le même déplacement; c'est pour cette raison que la douille A_1 qui supporte le régulateur, est libre de tourner sur l'axe, mais sans pouvoir se déplacer dans le sens longitudinal.

m_1 Partie du manchon M qui porte les articulations inférieures des bielles.

Le régulateur vu de face, comme sur la *fig.* 11, *pl.* VI, tourne de droite à gauche en passant sur le plan; c'est-à-dire que le mouvement de rotation est le même que celui que prendrait le manchon M si l'axe étant fixe on faisait baisser ce manchon.

N° 42, Sa subordination à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — Ce deuxième type du régulateur *Foucault* n'est pas indifférent à l'action de la pesanteur, car il est visible que le centre de gravité du système formé par les deux boules change de position avec l'inclinaison des bras sur l'axe; d'ailleurs les boules étant placées sur les bras, le poids de ces boules tend toujours à les rapprocher de l'axe de rotation. — Représentons par : (*fig.* 15.)

Fig. 15, *relative au régulateur Foucault*, 2e type.



P Le poids d'une boule.

g L'accélération de la chute des graves.

L La distance AC du centre de chaque boule à l'articulation du bras qui la porte.

D La distance commune des axes d'oscillation des bras et des bielles à l'axe de rotation.

O La vitesse angulaire.

α L'angle d'inclinaison des bras sur l'axe.

K L'écart proportionnel de la vitesse.

k La variation de la vitesse de régime nécessaire pour mettre le régulateur en mouvement.

t Le temps nécessaire pour produire la variation k de la vitesse.

Q La résistance de la valve estimée suivant l'axe du régulateur.

h Le pas de la vis.

E La tension du ressort transportée aux centres des boules.

Nous supposerons pour simplifier les calculs que les centres d'oscilla-

tion sont ramenés sur l'axe de rotation de telle sorte que la distance des centres des boules à l'axe de rotation soit :

$$L \sin \alpha.$$

La force centrifuge développée sur chaque boule est :

$$F = \frac{P}{g} O^2 L \sin \alpha.$$

L'action du ressort, transportée aux centres des boules, étant représentée par E, le régulateur sera en équilibre lorsque la résultante des trois forces F, E et P, agissant au centre de la même boule, suivra la direction du bras ; on aura alors :

$$(1) \qquad \frac{P}{g} O^2 L \sin \alpha - E = P \operatorname{tang} \alpha;$$

d'où l'on tire :

$$E = \frac{P}{g} \operatorname{tang} \alpha (O^2 L \cos \alpha - g).$$

Pour que l'action d'un ressort agissant en sens contraire de la force centrifuge soit nécessaire, il faut qu'on ait :

$$O^2 L \cos \alpha > g; \quad \text{d'où :} \quad O^2 > \frac{g}{L \cos \alpha}.$$

De la condition admise que les centres d'oscillation des bras se trouvent sur l'axe de rotation, il résulte l'impossibilité d'attacher directement le ressort sur les boules, car on doit avoir $E = 0$ pour $\alpha = 0$. Eu égard au diamètre des boules, cette impossibilité existe encore en pratique, même avec les centres d'oscillation des bras en dehors de l'axe, à moins que ces centres ne soient placés à une distance considérable l'un de l'autre. C'est une des raisons pour lesquelles le ressort est attaché aux extrémités de deux leviers fixés aux boules et faisant avec les bras, mais à l'extérieur, un certain angle. De cette façon lorsque $\alpha = 0$, la distance des points d'attache des ressorts est assez grande pour que ces ressorts puissent ensuite s'allonger, dans les limites de leur élasticité, jusqu'à ce que les boules occupent leur position extrême.

De la condition d'équilibre (1), on tire :

$$\frac{P}{g} O^2 L = \frac{P}{\cos \alpha} + \frac{E}{\sin \alpha}.$$

Pour que le régulateur soit isochrone, c'est-à-dire pour qu'avec la même vitesse angulaire le régulateur soit en équilibre dans toutes les positions que peuvent prendre les boules, il faut que, $\frac{P}{g} O^2 L$ étant constant, on ait :

$$\frac{P}{\cos \alpha} + \frac{E}{\sin \alpha} = \text{constante}.$$

Or il y a trois variables dans le premier membre de cette égalité, car il est visible que E augmente avec l'angle α, puisque le ressort s'allonge à mesure que les boules s'écartent. Si l'angle d'inclinaison du bras sur l'axe prend une autre valeur α', la tension du ressort devenant E', on doit avoir :

$$\frac{P}{\cos\alpha} + \frac{E}{\sin\alpha} = \frac{P}{\cos\alpha'} + \frac{E'}{\sin\alpha'}.$$

Si α' est plus grand que α, $\frac{P}{\cos\alpha}$ est plus petit que $\frac{P}{\cos\alpha'}$; il faut que par compensation on ait :

$$\frac{E'}{\sin\alpha'} < \frac{E}{\sin\alpha}; \quad \text{d'où :} \quad \frac{E'-E}{\sin\alpha' - \sin\alpha} < \frac{E}{\sin\alpha}.$$

C'est-à-dire qu'à mesure que l'angle α augmente, le rapport de l'augmentation de la tension du ressort à l'augmentation du sinus de l'angle α est moindre que le rapport de la tension du ressort au sinus de cet angle. Si le ressort était attaché aux centres des boules, ou même en des points symétriques des bras, les différences des tensions, qui sont proportionnelles aux allongements, seraient rigoureusement proportionnelles aux augmentations du sinus de l'angle d'inclinaison des bras sur l'axe, et l'on ne pourrait satisfaire à la condition ci-dessus; c'est la deuxième et la principale raison pour laquelle le ressort est attaché aux extrémités de leviers fixés aux boules, et en dehors des bras. De cette façon, l'allongement du ressort et par suite sa tension, croissent comme le sinus de l'angle β formé avec l'axe par la ligne AI, *fig.* 15, qui joint le centre d'oscillation au point d'attache du ressort. Comme cet angle est toujours plus grand que l'angle α, son sinus augmente moins rapidement que celui de l'angle α, et en donnant à l'angle BAI une valeur convenable, on peut réaliser la condition d'isochronisme, et faire que dans les limites de l'amplitude des oscillations du régulateur, on ait sensiblement :

$$\frac{P}{\cos\alpha} + \frac{E}{\sin\alpha} = \frac{P}{g}\Omega^2 L = \text{constante}.$$

N° 12, Son mode de fonctionnement : sensibilité; activité. — Les boules résistent par leur inertie à toute variation de vitesse angulaire. Il s'agit ici de l'inertie qui se manifeste dans le plan de rotation des boules autour de l'axe du régulateur, et non de celle qui se manifeste dans leur plan d'oscillation autour des points d'attache des bras. Si la vitesse augmente, l'axe de rotation du régulateur se met en avance sur les boules et tourne dans le manchon, qui s'élève alors le long de cet axe. Si la vitesse diminue, l'axe de rotation du régulateur se met en retard sur les boules, et le manchon tourne sur l'axe en s'abaissant. La force d'inertie développée dans le plan de rotation des boules est une quantité essentiellement variable; elle est très-grande si les variations de vitesse sont brusques et considérables, tandis qu'elle est faible si ces variations de vitesse sont lentes et de peu d'importance. On peut supposer qu'en raison

de la résistance de la valve et des frottements qui se produisent aux articulations, et surtout sur la vis, la vitesse puisse changer par gradations insensibles, de telle sorte que le régulateur soit entraîné dans le mouvement de rotation, sans que la force d'inertie de ses boules puisse se manifester. Dans ce cas, la valve doit être manœuvrée par la force résultant de la variation de force centrifuge, et il faut évidemment que cette force agisse dans le même sens que l'inertie du régulateur, soit pour écarter les boules, soit pour les rapprocher de l'axe de rotation. S'il se produit une accélération, la force centrifuge tend à écarter les boules; par suite le manchon doit s'élever le long de l'axe. — Si l'inertie agit, l'axe du régulateur prend de l'avance sur le manchon qui, étant mobile, se déplace le long de cet axe, en sens contraire du mouvement que prendrait ce dernier, s'il se taraudait dans un écrou fixe. Le pas de la vis doit par suite être de même sens que le mouvement de rotation vu dans son plan. Examinons dans ces conditions, comment se comporte le régulateur.

Lorsque la vitesse angulaire du régulateur est O, la vitesse linéaire des boules est OL sin α; et s'il se produit une variation Ok de vitesse angulaire, la variation correspondante de la vitesse linéaire des boules est OkL sin α. Cette variation de vitesse se produisant dans un temps t, la variation de force d'inertie développée par les deux boules dans leur plan de rotation est :

$$\frac{2P}{g} \times \frac{OkL \sin \alpha}{t}.$$

Et cette force agit à l'extrémité du rayon L sin α.

Le déplacement du manchon dans le sens de l'axe, correspondant à un déplacement angulaire infiniment petit $a°$, pendant lequel le rayon L sin α pourra être considéré comme constant, est $\frac{h \times a}{360}$. Or, d'après l'équilibre de la vis et abstraction faite du frottement qu'on peut supposer détruit par la variation de la force centrifuge, on a :

$$Qh \times \frac{a}{360} = \frac{2P}{g} \times \frac{OkL \sin \alpha}{t} \times 2\pi L \sin \alpha \, \frac{a}{360}.$$

D'où :

$$(1) \qquad Qh = 4\pi \frac{P}{g} L^2 \sin^2 \alpha \times \frac{Ok}{t}.$$

Le terme $\frac{Ok}{t}$ représente l'accélération de la vitesse angulaire, et la valeur de P sera d'autant plus faible que cette accélération sera plus grande; aussi pour les machines dont le travail résistant peut varier brusquement, comme dans les ateliers, il ne sera pas nécessaire de donner à P une valeur aussi grande que pour les machines dont le travail résistant n'éprouve que des variations lentes. Pour une valeur déterminée de P, l'accélération $\frac{Ok}{t}$ doit augmenter à mesure que $\sin^2 \alpha$ diminue; c'est-à-dire que le régulateur ne conserve pas le même degré de sensibilité dans toutes ses posi-

tions. Cependant, à cause de l'augmentation de résistance de la valve à mesure qu'on approche de la fermeture complète, ce qui a lieu quand α augmente, et à cause aussi du travail résistant développé par la pesanteur sur les boules, il peut se faire qu'en pratique la sensibilité du régulateur varie peu. Enfin, pour une valeur donnée de α, la variation k de la vitesse angulaire sera d'autant plus grande que cette vitesse sera plus faible, et que cette variation se produira plus lentement.

Si le mouvement s'accélère, l'axe du régulateur prend de l'avance sur le manchon, et celui-ci s'élève le long de l'axe en manœuvrant la valve, dont l'ouverture est réduite, et en écartant les boules du régulateur. Dans ce déplacement du manchon, la force d'inertie est considérable au commencement du mouvement et diminue ensuite rapidement; le régulateur commence par recevoir un accroissement de vitesse, très-faible d'abord, mais qui augmente même pendant que le manchon se déplace le long de l'axe; à la suite de cet accroissement de vitesse, l'équilibre entre la tension du ressort augmentée de l'action du poids des boules et la force centrifuge est détruit; la force centrifuge devient prépondérante et tend, à son tour, à déplacer le manchon. La vitesse de rotation de la machine, et par suite celle de l'axe du régulateur, cessent bientôt de croître; mais l'excédant de force centrifuge agissant encore, la valve est fermée d'une plus grande quantité; la vitesse diminue un peu, et l'axe du régulateur se met en retard sur le manchon. A ce moment la force centrifuge qui est en excédant et l'inertie du régulateur agissent en sens contraires pour manœuvrer le manchon; ce dernier ne doit pas tarder à s'arrêter dans son mouvement ascensionnel, et le régulateur doit prendre sa position d'équilibre à une vitesse qui, si elle n'est pas exactement la vitesse de régime, n'en diffère pas assez pour que la variation de force centrifuge soit capable de manœuvrer la valve.

S'il se produit un ralentissement, l'axe du régulateur se met en retard sur le manchon; celui-ci continue d'avancer et tourne en descendant le long de cet axe; l'ouverture de la valve est augmentée, et les boules sont rapprochées de l'axe de rotation. Dès les premiers instants du mouvement, la vitesse linéaire des boules du régulateur diminue, et il en est de même de la force centrifuge; la tension du ressort et l'action du poids des boules ne sont plus équilibrées par la force centrifuge; elles deviennent prépondérantes, et agissent à leur tour pour ouvrir la valve. — La vitesse de rotation de la machine, et par suite de l'axe du régulateur, cessent bientôt de décroître; la variation de force centrifuge agissant encore, puisque la vitesse est trop faible, la valve est ouverte d'une plus grande quantité; la vitesse de rotation augmente un peu, et l'axe du régulateur se met en avance sur les boules. A ce moment l'inertie et la variation de force centrifuge agissent en sens contraires pour manœuvrer la valve, et le régulateur prend sa position d'équilibre à une vitesse qui, si elle n'est pas exactement la vitesse de régime, n'en diffère pas d'une quantité suffisante pour que la variation de force centrifuge puisse manœuvrer la valve.

En général, le mouvement des boules dans leur plan d'oscillation n'est

pas déterminé par la variation de force centrifuge, mais bien par le déplacement du manchon sur l'axe du régulateur. Dans ce cas, l'inertie des boules dans leur plan d'oscillation détermine une force qui s'ajoute à la résistance de la valve et tend à modérer les écarts du régulateur lorsqu'il se produit des variations brusques de la vitesse. Si, au lieu d'être brusques, les variations de la vitesse sont au contraire très-lentes, au point que la force d'inertie du régulateur dans son plan de rotation ne puisse se manifester, ou, plus exactement, ne puisse prendre une valeur capable de vaincre la résistance de la valve et le frottement du manchon mobile sur la vis, l'inertie des boules dans leur plan d'oscillation occasionnera un surcroît de développement de force centrifuge, de telle sorte que la valve sera manœuvrée brusquement dès qu'elle sera mise en marche, et il se produira rapidement une variation en sens contraire de la vitesse de rotation. — Comme l'axe du régulateur ressentira immédiatement cette variation de vitesse, l'inertie dans le plan de rotation se manifestera aussitôt, et le mouvement du manchon sera arrêté avant que la valve soit portée à sa position extrême de fermeture complète ou d'ouverture en grand.

Il résulte de ces explications que le régulateur qui nous occupe est doué d'une grande sensibilité et de beaucoup d'activité, sans que ces qualités puissent nuire à son fonctionnement; toutefois, il ne faut pas que la sensibilité du régulateur soit assez grande pour que cet instrument fonctionne sous l'influence des variations périodiques de la vitesse qui se produisent pendant la durée d'un tour. On remarquera qu'en pratique, ces variations périodiques de la vitesse doivent maintenir l'axe du régulateur dans un état d'oscillation très-propre à faire fonctionner l'instrument sous l'influence de très-faibles variations de la vitesse moyenne de régime.

N° 42. Détermination de ses éléments. — Pour construire un régulateur *Foucault* du type qui nous occupe, il faut se donner certains éléments et déterminer les autres par le calcul. On commencera par construire l'épure du régulateur, d'après les proportions de la *fig.* 11, *pl.* VI, par exemple, qui représente ce régulateur dans sa position moyenne d'oscillation; on se donnera ensuite les éléments suivants :

- Q La résistance de la valve mesurée suivant l'axe du régulateur.
- h Le pas de la vis.
- D La distance des centres d'oscillation des bras à l'axe de rotation.
- L La distance du centre d'oscillation de chaque bras au centre de sa boule.
- α L'angle moyen d'inclinaison des bras sur l'axe.
- A La moitié de l'angle d'oscillation des boules.
- Θ La vitesse angulaire du régulateur.
- K L'écart proportionnel de la vitesse moyenne.
- l La distance AI (*fig.* 15) des points d'attache des bras aux points d'attache du ressort.

Et on déterminera :

- P Le poids de chaque boule.
- f_1, f, f_2 Les tensions réelles du ressort correspondant aux angles $(\alpha - A)$, α, $(\alpha + A)$.
- e Le coefficient d'élasticité du ressort.
- β L'angle d'inclinaison de la ligne AI (*fig.* 15) sur l'axe dans la position moyenne d'oscillation, et correspondant par suite à l'angle α.

Pour simplifier les calculs, nous représenterons par E_1, E, E_2, les valeurs que prennent les tensions f_1, f, f_2 du ressort aux centres des boules.

La condition d'équilibre, sans l'action du ressort, serait :

$$\frac{P}{g} O^2 (D + L \sin \alpha) = P \operatorname{tang} \alpha;$$

d'où :

$$O^2 = \frac{g}{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

Et pour que l'action du ressort soit nécessaire, il faut qu'on ait :

$$O^2 > \frac{g}{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

Plus cette inégalité sera grande, et plus la tension du ressort devra être considérable. Comme la tension réelle du ressort est plus grande que la valeur de cette tension transportée aux centres des boules, il convient en pratique, de ne pas donner à O une valeur de beaucoup supérieure à

$$\frac{g}{\left(\frac{D}{\sin \alpha} + L\right) \cos \alpha}.$$

O étant déterminé, et K étant donné, il faut chercher l'accélération de vitesse angulaire $\frac{OK}{t}$, sous l'influence de laquelle on veut que le régulateur fonctionne; cette accélération ne doit pas être inférieure à l'accélération maxima qui se produit périodiquement à chaque tour de l'arbre. Lorsque la machine sur laquelle on veut appliquer le régulateur est construite, il faut relever des courbes d'indicateur, calculer le travail moteur pour un tour, et en déduire en kilogrammes la valeur de la résistance constante P_r appliquée tangentiellement à la circonférence décrite par le bouton de la manivelle. En divisant cette circonférence en parties égales, on relève sur les courbes d'indicateur l'effort total effectif qui agit sur le piston ou sur chaque piston si la machine a plusieurs cylindres, et correspondant à chaque point de division; d'où l'on déduit l'effort résultant P_m de rotation à l'extrémité de la manivelle. En construisant la courbe des différences $P_m - P_r$, on trouvera la plus grande valeur positive ou négative de cette différence, et ce sera la valeur maxima de la force accélératrice ou retardatrice qui agit sur le volant, dont la masse est connue. La valeur de l'accélération angulaire $\frac{OK}{t}$, employée dans l'établissement du régulateur ne doit pas être inférieure à la valeur maxima de $\frac{P_m - P_r}{MR}$, M étant la masse du volant et R son rayon moyen.

On calculera le poids de chaque boule par la relation suivante, déduite

de l'égalité (1) du n° 42, :

$$P = \frac{Qhg}{4\pi(D + L \sin \alpha)^2 \times \frac{OK}{l}}.$$

Et dans laquelle $L^2 \sin^2 \alpha$ a été remplacé par $(D + L \sin \alpha)^2$ pour tenir compte de la distance des centres d'oscillation des boules à l'axe de rotation, et k par K. — Il reste à déterminer la tension du ressort et ses points d'attache. En tenant compte de la distance D, la condition d'équilibre est :

$$\frac{P}{g} O^2(D + L \sin \alpha) = P \operatorname{tang} \alpha + E;$$

d'où :

$$E = \frac{P}{g} [O^2(D + L \sin \alpha) - g \operatorname{tang} \alpha].$$

Calculons maintenant la tension réelle f du ressort, qui agit sur un point distant de l'axe d'une quantité $D + l \sin \beta$, tandis que la tension E exercée aux centres des boules, agit sur un point éloigné de l'axe de la quantité $D + L \sin \alpha$. Si nous supposons qu'il se produise un déplacement élémentaire de a degrés, pendant lequel nous pourrons considérer la tension du ressort comme constante, le chemin fait par la tension E sera :

$$L[\sin(\alpha + a) - \sin \alpha];$$

et le travail de cette force aura pour valeur :

$$(a) \qquad EL[\sin(\alpha + a) - \sin \alpha].$$

Le chemin fait par l'extrémité de la ligne AI sera :

$$l[\sin(\beta + a) - \sin \beta];$$

et le travail fait par la tension réelle f du ressort aura pour valeur :

$$(b) \qquad fl[\sin(\beta + a) - \sin \beta].$$

En égalant les travaux élémentaires (a) et (b) des forces f et E, on tire :

$$f = E \frac{L[\sin(\alpha + a) - \sin \alpha]}{l[\sin(\beta + a) - \sin \beta]}.$$

En développant et prenant $\cos a = 1$, en raison de la petitesse de l'angle a, il vient après simplifications :

$$(1) \qquad f = E \times \frac{L}{l} \times \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}.$$

On aurait de même, pour les deux positions extrêmes du régulateur :

$$(2) \qquad f_1 = E_1 \times \frac{L}{l} \times \frac{\cos(\alpha - A)}{\cos(\beta - A)}.$$

$$(3) \qquad f_2 = E_2 \times \frac{L}{l} \times \frac{\cos(\alpha + A)}{\cos(\beta + A)}.$$

La valeur de l peut être donnée, car nous avons vu (n° 42_3) que les variations de E et par suite de f ne dépendent que de l'angle β, les valeurs absolues de f restant d'ailleurs toujours dépendantes de la valeur de l. Si l est donné, il ne reste que deux inconnues dans chacune des égalités ci-dessus. Or, remarquons que lorsque l'angle β passe de la valeur $(\beta - A)$ à sa valeur moyenne β, et de celle-ci à sa valeur $(\beta + A)$, les allongements respectifs du ressort tendu par les deux extrémités sont :

$$2l[\sin\beta - \sin(\beta - A)],$$

et

$$2l[\sin(\beta + A) - \sin\beta].$$

Et comme le coefficient e de tension du ressort est constant, on doit avoir :

$$(4)\qquad \frac{f - f_1}{2l[\sin\beta - \sin(\beta - A)]} = \frac{f_2 - f}{2l[\sin(\beta + A) - \sin\beta)]} = e.$$

En remplaçant f, f_1, f_2, par leurs valeurs ci-dessus, et en simplifiant il vient :

$$\frac{E \times \frac{\cos\alpha}{\cos\beta} - E_1 \times \frac{\cos(\alpha - A)}{\cos(\beta - A)}}{\sin\beta - \sin(\beta - A)} - \frac{E_2 \times \frac{\cos(\alpha + A)}{\cos(\beta + A)} - E \times \frac{\cos\alpha}{\cos\beta}}{\sin(\beta + A) - \sin\beta} = 0.$$

Dans cette équation, tout est connu sauf β ; or, si on donne à β diverses valeurs, et qu'on effectue les calculs indiqués, on trouvera pour le premier membre de l'équation certaines valeurs correspondant chacune à une valeur de β. Les deux premières valeurs trouvées pour cette équation seront positives ou négatives, et indiqueront dans quel sens il faut faire varier β, pour que l'équation devienne égale à zéro, et change ensuite de signe. Après avoir obtenu plusieurs valeurs de cette équation, on construira une courbe ayant pour ligne d'abscisses les diverses valeurs données à β, et pour ordonnées les valeurs correspondantes du premier membre de l'équation, les valeurs négatives étant portées au-dessous de la ligne des abscisses, les valeurs positives au-dessus. Le point où cette courbe coupera la ligne des abscisses, donnera la valeur de l'angle β.

L'angle β étant connu, on portera cette valeur dans les égalités (1), (2, et (3), et on trouvera ainsi les tensions réelles f_1, f et f_2, du ressort. — Le coefficient de tension du ressort est donné par chacun des deux membres de l'égalité (4), et si les calculs qu'on a effectués sont exacts, on doit trouver deux résultats identiques en opérant sur les deux membres de cette égalité.

Lorsque l'angle d'inclinaison des bras sur l'axe a sa valeur moyenne α, la ligne AI est inclinée sur l'axe de l'angle β, et la distance des points d'attache du ressort est : $2(D + l\sin\beta)$. A ce moment la tension du ressort est f, quantité connue ; le coefficient d'élasticité e étant aussi connu, le ressort doit se raccourcir pour arriver à une tension nulle d'une quantité $\frac{f}{e}$, et la longueur du ressort à construire sera donnée par :

$$2(D + l\sin\beta) - \frac{f}{e}.$$

N° 42_5 Conclusions pour son emploi. — Le régulateur *Foucault* que nous venons d'étudier est doué d'une grande sensibilité et de beaucoup d'activité, sans qu'on soit exposé par son emploi aux oscillations à longue période qu'occasionnent souvent les régulateurs isochrones. Cet instrument construit avec soin doit maintenir la vitesse moyenne de régime presque invariable, surtout si la machine motrice conduit les outils d'un atelier ou d'une manufacture. Mais il n'est pas applicable aux machines marines, non-seulement parce qu'il n'est pas indifférent à l'action de la pesanteur, mais aussi parce qu'il ne permet pas de faire varier à volonté l'allure de l'appareil moteur. Il faudrait en effet, pour changer la valeur de O, faire varier non-seulement la tension du ressort, mais encore l'angle d'inclinaison moyenne de la ligne AI sur l'axe.

Toutefois, il serait possible au moyen de poulies étagées, et d'une transmission par courroie, de conserver la même vitesse angulaire au régulateur en changeant l'allure de la machine ; mais le nombre de changements possibles serait naturellement très-limité.

N° 43. — 1. Solution du problème de l'isochronisme à l'aide de ressorts, due à MM. Farcot : description de l'instrument et son installation à bord. — 2. Son indifférence à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — 3. Son mode de fonctionnement : sensibilité ; activité. — 4. Détermination de ses éléments. — 5. Conclusions pour son emploi.

N° 43_1 Solution du problème de l'isochronisme à l'aide de ressorts due à MM. Farcot : description de l'instrument et son installation à bord. — MM. *Farcot* ont construit des régulateurs à bras et à bielles croisés, ou simplement à bras croisés, dont toutes les parties sont statiquement équilibrées autour des centres d'oscillations, et dans lesquels l'action de la pesanteur est remplacée par celle d'un ressort. Par la disposition des bras et de leurs centres d'oscillation, MM. *Farcot* ont réussi à faire parcourir aux boules de leurs régulateurs des arcs de cercle ne différant pas sensiblement d'une courbe parabolique, et ont ainsi réalisé d'une façon très-pratique le problème de l'isochronisme.

Le régulateur représenté sur les *fig.* 12 et 13, *pl.* VI, est celui qui, en marine, a donné les meilleurs résultats, il est à deux centres d'oscillation et à bras croisés sur leurs prolongements supérieurs ; les boules sont fixées aux extrémités de ces prolongements, et leurs poids sont équilibrés par celui du manchon d'entraînement, de telle sorte que le centre de gravité du système reste constamment sur la ligne fixe des centres d'oscillation.

Légende commune aux fig. 12 et 13, pl. VI.

Fig. 12 et 13, Pl. VI.

A Axe du régulateur entraînant tout le système dans son mouvement de rotation. Cet axe est maintenu à sa partie supérieure par une douille *g* de la traverse G; il est supporté à sa partie inférieure par une crapaudine *d* fixée sur le bâti.

a Arbre auxiliaire par l'intermédiaire duquel l'arbre des tiroirs communique son mouvement de rotation à l'axe du régulateur au moyen de deux paires d'engrenages coniques pour la *fig.* 12, et d'une seule paire avec le reste de la transmission par courroie pour la *fig.* 13.

B Deux boules égales et de même poids placées aux extrémités des prolongements supérieurs des bras. Ces boules sont creuses et chargées de plomb; on obtient ainsi un minimum de volume pour un poids déterminé, ce qui permet de donner à l'angle d'inclinaison du bras sur l'axe, sa plus faible valeur.

b, b Bras du régulateur. Les centres d'oscillation de ces bras sont portés par un appendice qui surmonte le cylindre C et qui est claveté sur l'axe du régulateur.

b', b' Prolongements supérieurs des bras, portant à leurs extrémités les boules B, B.

b_1, b_1 Bielles du régulateur articulées aux extrémités inférieures des bras. Ces bielles sont articulées d'autre part, sur la partie M' du manchon d'entraînement qui tourne avec l'axe du régulateur. Les bielles ont même longueur que les bras, et leurs articulations inférieures sont à une distance de l'axe de rotation égale à la distance des centres d'oscillation des bras au même axe.

C Cylindre du frein à air. Ce cylindre est fixé à l'axe du régulateur par l'intermédiaire de l'appendice qui le surmonte. Les deux extrémités de ce cylindre sont mises en communication par un canal creusé dans sa paroi. Le piston du frein à air glisse sur l'axe du régulateur en même temps que le manchon d'entraînement; dans le mouvement de ce piston, l'air contenu dans le cylindre est refoulé à travers le cana précité et passe d'une extrémité du cylindre dans l'autre; une vis dont la tête est extérieure, bouche plus ou moins ce canal et permet de faire varier la résistance que le piston du frein éprouve à refouler l'air; cette résistance est d'autant plus grande que la vis de réglage démasque une plus petite partie de la section du canal. Cette disposition a pour but d'empêcher le régulateur d'être instable et de porter brusquement la valve à l'une ou l'autre de ces positions extrêmes, dès que la variation de vitesse est suffisante pour que le régulateur fonctionne.

C_0 (*fig.* 13) Condenseur de la machine. Le bâti du régulateur est fixé sur ce condenseur.

c,c,c (*fig.* 12) Cavités du manchon d'entraînement du régulateur, destinées à recevoir du plomb pour établir l'équilibre statique de tout le système autour de la ligne qui joint les centres d'oscillation des bras.

D Bâti sur lequel est monté le régulateur. En *fig.* 12, ce bâti est fixé au cylindre avant; en *fig.* 13, il est monté sur le condenseur.

d Crapaudine fixée sur le bâti et qui sert à la fois de support et de guide inférieur à l'axe du régulateur.

E,E Ressort dont la tension est sensiblement constante et qui est destiné à équilibrer la force centrifuge développée sur les boules. Ce ressort est en deux parties qui agissent comme un ressort unique et qui sont reliées par le petit balancier *e*. Cette disposition a pour but de permettre d'avoir un ressort très-long et dont la tension ne varie pas sensiblement par suite de son faible allongement, lorsque le régulateur fonctionne; d'un autre côté, les deux parties du ressort étant de même longueur et de même épaisseur, leurs poids s'équilibrent aux extrémités des bras égaux du balancier *e*, et ces poids n'ont aucune influence sur le fonctionnement du régulateur.

e,e Balanciers à bras égaux reliant les deux parties du ressort E.

e' Crochet d'attache du ressort E sur le bâti du régulateur.

e'_1 Crochet d'attache du ressort E sur le levier H par l'intermédiaire duquel ce ressort agit sur le régulateur.

G Traverse fixée à une colonne montée sur le bâti du régulateur et qui ne figure pas sur le dessin. Cette traverse porte à une de ses extrémités une douille *g* qui sert de guide à l'axe du régulateur, et à l'autre extrémité le balancier *e,e* qui relie les deux parties du ressort E.

g Douille qui sert de guide supérieur à l'axe du régulateur.

g_1 Guides cylindriques, coudés en arc de cercle, fixés par une douille à l'axe du régulateur et entraînant les prolongements des bras dans le mouvement de rotation de cet axe. Cette disposition a pour but d'éviter la fatigue qu'éprouveraient les axes d'oscillation des bras, si ces axes devaient entraîner eux-mêmes les boules dans leur mouvement de rotation.

H Levier par l'intermédiaire duquel s'exerce l'action du ressort E qui doit faire équilibre à la force centrifuge des boules. Ce levier est à fourche pour embrasser le manchon d'entraînement M du régulateur; chacune des branches de cette fourche porte un boulon qui pénètre dans une entaille du manchon M et fait ainsi la liaison de ce manchon avec le levier H.

h Coulisseau de position variable et qui sert de centre d'oscillation au levier H. La position de ce coulisseau est déterminée pour chaque vitesse de rotation, et on le déplace au moyen de l'axe taraudé *n*. Ce coulisseau est guidé à sa partie inférieure et à la hauteur de la vis *n*, par une rainure pratiquée dans le bâti.

I Index monté sur le coulisseau *h* et qui marque sur une graduation *i*, faite sur le bâti, le nombre de tours de régime pour chacune des positions du coulisseau.

i Graduation dont il est parlé ci-dessus en I. Sur les appareils récents, l'index I est fixe sur le bâti et la graduation *i* est faite sur un petit tambour dont l'axe, porté également par le bâti, reçoit un mouvement de rotation de la vis *n* par l'intermédiaire d'un engrenage hélicoïdal.

LL_1 (*fig.* 12) Levier coudé qui reçoit directement le mouvement du manchon du régulateur pour transmettre ce mouvement à la valve; ce levier est double en L, et est relié au manchon M par les mêmes boulons qui lient le levier H à ce manchon.

L' (*fig.* 12) Axe du double levier L_1 monté sur le bâti D.

l (*fig.* 12) Bielle par l'intermédiaire de laquelle le levier coudé LL_1 actionne la valve.

L_1 (*fig.* 13) Double levier articulé, comme le levier H, sur le manchon M, et par l'intermédiaire duquel le mouvement que le levier H reçoit du régulateur est transmis à la valve. L'axe d'oscillation du levier L_1 est monté sur le bâti D.

l_1 (*fig.* 13) Double bielle par l'intermédiaire de laquelle le levier L_1 actionne le levier L'_1.

L'_1 (*fig.* 13) Double levier oscillant sur son milieu et formant avec le levier L_1 et la double bielle l_1, un parallélogramme tel que les oscillations du levier L_1 sont exactement reproduites par le levier L'_1 et transmises à la valve.

L_2 (*fig.* 13) Levier monté sur l'axe du levier L'_1 et oscillant en même temps que lui.

L'_2 (*fig.* 13) Levier monté sur l'axe de la valve.

l' (*fig.* 13) Bielle qui relie les leviers L_2 et L'_2 pour manœuvrer la valve.

MM' Manchon d'entraînement du régulateur. Ce manchon est en deux parties qui embrassent un fourreau faisant corps avec le piston du cylindre-frein; la partie supérieure M', qui porte les articulations inférieures des bielles, est fixée sur le fourreau du piston de frein à air au moyen de deux clavettes qui traversent l'axe du régulateur en passant dans une rainure longitudinale pratiquée sur cet axe. Par cette disposition, le manchon M' est entraîné dans le mouvement de rotation de l'axe du régulateur, tout en pouvant glisser le long de cet axe lorsque l'écartement des boules varie. La partie inférieure M du manchon d'entraînement est ajustée à frottement doux sur le fourreau du piston et est maintenue dans le sens de l'axe, entre la partie M' et une embase de ce fourreau. Il résulte de cette disposition que le manchon M, maintenu par le levier H, ne tourne pas avec l'axe du régulateur, mais il est obligé de suivre les mouvements de la partie M', lorsque celle-ci se déplace le long de cet axe par suite des variations de l'écartement des boules du régulateur.

N Volant de manœuvre pour changer la position du coulisseau mobile *h*.

n Axe pouvant tourner, mais sans avancer, dans deux supports du bâti D; cet axe porte le volant de manœuvre N; il est taraudé et traverse le coulisseau *h*, qu'il sert à déplacer lorsqu'on veut changer la vitesse de régime de marche.

Q Contre-poids d'équilibration du levier H et des leviers LL_1 (*fig.* 12) et L_2 (*fig.* 13). Ce contre-poids est double pour que le levier H ne force pas obliquement sur ces articulations.

q Levier du contre-poids Q.

q_1 Supports et centres d'oscillation des leviers *q*.

q'_1 Point d'attache commun des leviers q sur le levier H.
R Roue d'angle horizontale, montée sur l'axe du régulateur.
R' Roue d'angle verticale, montée sur l'arbre auxiliaire a et engrenant avec la roue R.
s (*fig.* 13) Poulies de transmission de mouvement de l'arbre moteur à l'arbre auxiliaire a du régulateur.
t (*fig.* 13) Courroie capelée sur les deux poulies s.
t' (*fig.* 13) Rouleau tendeur appuyant sur la courroie t pour lui donner une tension suffisante afin d'empêcher le glissement de cette courroie sur les poulies s.
V (*fig.* 13) Tuyau de vapeur.
v (*fig.* 13) Valve conduite par le régulateur.
v' (*fig.* 13) Valve indépendante du régulateur et qu'on manœuvre à la main pour régler la vitesse de la machine lorsque le régulateur est déclanché. Cette valve est fermée quand le régulateur fonctionne. Comme le régulateur au repos laisse toujours sa valve ouverte en grand, il faut, pour la disposition qui est donnée aux valves v' et v, que cette dernière puisse être fermée en déclanchant la bielle l'.

N° 43_2 Son indifférence à l'action de la pesanteur et conditions de son isochronisme. — Le régulateur *Farcot* à bras croisés est indifférent à l'action de la pesanteur, parce que le poids des boules et du prolongement supérieur des bras est équilibré par le poids des bras, des bielles et du manchon d'entraînement. La répartition des poids additionnels dans les cavités du manchon d'entraînement, est telle que le régulateur reste en équilibre sous l'action de la pesanteur, dans toutes les positions que peuvent occuper ses boules ; c'est-à-dire que le centre de gravité de tout le système mobile reste invariablement sur le point de rencontre de l'axe de rotation avec la ligne qui joint les centres d'oscillation des bras. — On remarquera d'ailleurs que le piston du modérateur et sa tige creuse font partie du système mobile et qu'on tient compte de leur poids dans l'équilibration précitée.

Considérons le régulateur *Farcot* réduit à son canevas géométrique *fig.* 14, *pl.* VI, et représentons par :

Fig. 14, Pl. VI.

P Le poids de chacune des boules.
g L'accélération de la chute des graves.
R Le rayon CK de la circonférence décrite par le centre de chaque boule.
h La longueur DK.
l La longueur AO du bras.
L La distance CO de l'articulation du bras au centre de la boule.
α L'angle d'inclinaison du bras sur l'axe de rotation du régulateur.
O La vitesse angulaire.
K L'écart proportionnel de vitesse.
Q La résistance, supposée constante, de la valve et mesurée suivant l'axe du régulateur.
E La tension du ressort mesurée suivant l'axe de rotation du régulateur.

L'expression de la force centrifuge pour chaque boule est :

$$F = \frac{P}{g} O^2R = \frac{P}{g} O^2 h \tang \alpha.$$

Ces deux forces F peuvent être transportées aux points A et A' avec une

valeur égale (*Théorème* 1 du n° 36_2) à :

$$F' = F\frac{L}{l} = \frac{P}{g}O^2h\ \frac{L}{l}\ \text{tang}\,\alpha.$$

La tension E du ressort qui agit dans la direction de l'axe XY, et qui fait équilibre à la force centrifuge, peut être remplacée par deux autres forces égales chacune à E (*Théorème* 1 du n° 36_2), appliquées aux points A et A' et parallèlement à l'axe XY. Le régulateur sera en équilibre lorsque la résultante des forces F' et E, appliquées au même point A ou A', suivra la direction du bras; ce qui exige qu'on ait :

$$F' = E\ \text{tang}\,\alpha;$$

ou bien :

$$\frac{P}{g}O^2h\frac{L}{l}\ \text{tang}\,\alpha = E\ \text{tang}\,\alpha;$$

d'où :

$$(1)\qquad E = \frac{P}{g}O^2\frac{L}{l}h.$$

Le centre d'oscillation O, est le centre du cercle osculateur d'une parabole qui passe par le point C, qui a XY pour axe et OC pour normale; h, qui est la sous-normale de cette parabole, est une quantité sensiblement constante, au moins tant que l'arc de cercle décrit par le point C autour du centre O, ne s'écarte pas trop de cette parabole. Il résulte de là que pour que le régulateur soit isochrone, il faut que la tension E du ressort soit aussi constante. On a obtenu ce résultat en prenant un ressort très-long, et en le faisant agir à l'extrémité du petit bras d'un levier, dont l'autre bras est entraîné par le manchon du régulateur; de cette façon, l'allongement du ressort est très-faible, eu égard à sa longueur, et sa tension varie peu. — L'égalité :

$$E = \frac{P}{g}O^2\frac{L}{l}h,$$

donne :

$$O^2 = \frac{El}{\frac{P}{g}Lh};$$

et le régulateur Farcot est isochrone, dans les limites ou h ne varie pas sensiblement. Or ces limites sont très-restreintes, et ne permettent pas d'avoir une amplitude d'oscillation de plus de 10 à 12 degrés, ce qui impose l'obligation de donner au manchon du régulateur une très-petite course, et d'avoir une valve qui ouvre de grands orifices pour un faible déplacement. Au surplus, cette condition est avantageuse pour maintenir la tension du ressort sensiblement constante; cette tension doit d'ailleurs varier avec le carré de la vitesse de rotation, car on a :

$$(2)\qquad \frac{E}{E'} = \frac{O^2}{O'^2}.$$

Par le fait, la tension du ressort ne change pas, mais son action sur le régulateur change, en raison du bras de levier à l'extrémité duquel il agit. Ce changement de bras de levier est obtenu par le déplacement du coulisseau M (*fig.* 12 et 13, *pl.* VI), qui porte le centre d'oscillation du levier H. La facilité avec laquelle ce coulisseau peut être déplacé en marche, permet de changer rapidement l'allure de l'appareil moteur.

N° 43, Son mode de fonctionnement : sensibilité; activité. — Lorsque la vitesse est constante, la force centrifuge développée sur chaque boule a pour expression :

$$F = \frac{P}{g} O^2 h \text{ tang } \alpha.$$

En désignant par K l'écart proportionnel de vitesse qui est en même temps ici, la variation de vitesse nécessaire pour mettre la valve en mouvement, puisque le régulateur est sensiblement isochrone, la vitesse angulaire qui était O devient $O \pm OK = O(1 \pm K)$; et pour la même position du régulateur, la force centrifuge développée devient :

$$F' = \frac{P}{g} O^2 h (1 \pm K)^2 \text{ tang } \alpha.$$

En retranchant l'une de l'autre, les deux valeurs ci-dessus de la force centrifuge, et en négligeant le terme K^2 qui est assez petit, on a la valeur de la force disponible au centre de chaque boule pour manœuvrer la valve, et qui est représentée pour les deux sens de la variation de vitesse par :

$$F_1 = 2 \frac{P}{g} O^2 h K \text{ tang } \alpha.$$

Les deux forces F_1 étant transportées aux points A et A′ où les bras sont articulés avec les bielles, prennent une nouvelle valeur (*théorème* 1 *du n°* 36,) :

$$F'_1 = 2 \frac{P}{g} O^2 \frac{L}{l} h K \text{ tang } \alpha.$$

La résistance constante Q que la valve oppose au mouvement du manchon d'entraînement, peut-être remplacée par deux autres forces égales à Q et appliquées aux points A et A′ parallèlement à XY; il y aura équilibre, et, abstraction faite de l'inertie, la valve sera sur le point d'être mise en mouvement, lorsque la résultante des forces appliquées en A et en A′ suivra la direction des bras, ce qui exige

qu'on ait :

$$2\frac{P}{g}O^2\frac{L}{l}hK \tang \alpha = Q \tang \alpha;$$

d'où :

(1) $$2\frac{P}{g}O^2\frac{L}{l}hK = Q.$$

Il y a lieu de remarquer que la force nécessaire pour mettre la valve en mouvement étant supposée constante, les variations K de vitesse nécessaires pour développer la force capable de manœuvrer la valve, seront d'autant plus faibles que la vitesse de régime sera plus grande.

L'égalité (1) ci-dessus montre que ces variations sont entre elles dans le rapport inverse des carrés de ces vitesses de rotation ; ainsi, lors des grandes allures, la vitesse moyenne s'écartera beaucoup moins de la vitesse de régime que lorsque la machine fonctionnera à une allure réduite. Pour la même valeur de O, la sensibilité du régulateur sera d'ailleurs d'autant plus grande que P sera plus grand et Q plus petit.

Il y a encore lieu de remarquer que la résistance opposée par la valve au mouvement du manchon d'entraînement est beaucoup plus considérable au départ qu'en marche, et que d'un autre côté, l'inertie de cette valve et de toute la transmission de mouvement donne naissance à une force résistante qui nécessite un surcroît de variation de force centrifuge. Comme cette résistance due à l'inertie diminue rapidement dès que la valve est mise en mouvement, il en résulte que l'égalité $2\frac{P}{g}O^2\frac{L}{l}hK = Q$, cesse d'exister dès que la valve se met en marche ; de sorte qu'après un petit déplacement de cet organe, la variation de force centrifuge est trop grande pour la résistance à vaincre. L'organe d'arrêt sera donc immédiatement ouvert en grand ou complétement fermé, jusqu'à ce que la vitesse étant revenue à sa première valeur, il se produise une variation en sens contraire, à la suite de laquelle la valve sera renvoyée à sa position extrême opposée ; et ainsi de suite. On voit qu'une fois l'équilibre rompu, le fonctionnement du régulateur *Farcot* se composerait d'une suite d'oscillations pendant lesquelles la vitesse serait constamment variable, en s'écartant d'autant plus de la vitesse moyenne que la valve offrirait plus de résistance au départ et que son inertie serait plus grande. Il se produirait ainsi les oscillations

à longue période dont nous avons si souvent eu occasion de parler, et le régulateur serait plutôt nuisible qu'utile. C'est pour obvier à cet inconvénient et réduire son activité que le régulateur *Farcot* est muni d'un frein à air. En diminuant suffisamment le passage de l'air dans le conduit qui met en communication les deux extrémités du cylindre-frein, on peut ralentir autant qu'on veut le mouvement de la valve, et dépenser l'excédant de force devenu disponible dès que la valve est ébranlée. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que, lors d'une accélération, la valve fermant de plus en plus l'orifice, la résistance en marche ne reste pas constante. Cette résistance augmente à mesure que la section démasquée diminue, et peut devenir considérable s'il survient une accélération brusque produisant une grande diminution de la pression dans le cylindre; aussi en pratique, le régulateur aura toujours plus de facilité pour ouvrir la valve que pour la fermer.

N° 13₄ Détermination de ses éléments. — Pour construire un régulateur *Farcot* du type qui nous occupe, on commencera par tracer l'épure de l'instrument en adoptant par exemple les rapports de la *fig.* 12 ou de la *fig.* 13, *pl.* VI. On se donnera ensuite ou on mesurera les valeurs suivantes :

O La vitesse angulaire de rotation, qu'il est avantageux de prendre aussi grande que possible, et qui, dans la pratique, peut être comprise entre 6 et 9 mètres.

L, l et D D'après les proportions des figures indiquées ci-dessus.

α L'angle moyen d'inclinaison des bras sur l'axe, qu'il faudrait faire aussi petit que possible afin que le cercle décrit du centre d'oscillation de chaque boule avec L pour rayon, se confonde sensiblement, dans une amplitude de 10 à 12 degrés, avec la parabole qui passe par le centre de cette boule. On peut, d'ailleurs, construire la parabole dont on connaît la normale et la sous-normale, car on sait que le sommet est au milieu de la sous-tangente, et que la projection du foyer sur une tangente quelconque se trouve sur la tangente du sommet. En pratique, à cause du diamètre des boules, la valeur de l'angle α doit être de 40 degrés environ, afin de ne pas donner à L une trop grande valeur, ce qui augmenterait le moment d'inertie des boules et par suite la difficulté qu'aurait le frein à réprimer la tendance du régulateur à produire des oscillations à longue période.

h La valeur de la sous-normale qui doit être sensiblement constante, et que l'on relève sur l'épure.

K L'écart proportionnel de vitesse sous l'influence duquel le régulateur doit fonctionner. Cette quantité ne doit pas être inférieure à l'écart proportionnel de vitesse que laisse encore subsister le volant et qui se produit périodiquement pendant la durée d'un tour. Pour les machines marines qui n'ont pas de volants, on peut prendre la valeur de K entre $\frac{1}{25}$ et $\frac{1}{30}$, si on calcule le poids des boules sur la valeur maxima de O.

Q La résistance de la valve mesurée suivant l'axe du régulateur, et autant que possible avec un dynamomètre, pendant que la machine est en marche. Comme cette résistance n'est pas constante, on prendra sa plus grande valeur.

Le poids de chaque boule se déduira de l'égalité (1) du n° 43$_3$, qui donne :

$$P = Q\,\frac{l}{L} \times \frac{g}{2hO^2K}.$$

Le poids des boules étant connu, il faudra déterminer leur diamètre. Ces boules devront être creuses en fonte, et seront remplies de plomb; de cette façon, pour le même poids leur diamètre sera plus petit. S'il arrivait que le diamètre des boules fût tel que le régulateur ne puisse prendre sa position extrême d'oscillation au minimum d'écartement des boules, avant que celles-ci touchent l'axe de rotation ou la douille de leur guide, il faudrait augmenter la longueur L ou l'angle α, déterminer sur l'épure la valeur correspondante de h et calculer à nouveau le poids et par suite le diamètre des boules.

La tension du ressort sera déterminée par l'égalité (1) du n° 43$_2$:

$$E = \frac{P}{g}\,O^2h\,\frac{L}{l}.$$

Comme la tension de ce ressort doit rester sensiblement constante, on n'a pas à s'occuper de son coefficient de tension, mais seulement du rapport des bras du levier par l'intermédiaire duquel l'action de ce ressort se transmet au régulateur. — Soient :

- E_1 La tension réelle du ressort qu'on pourra faire égale à E (égalité (1) n° 43$_2$) pour la valeur maximum de la vitesse O. On construira d'ailleurs ce ressort en deux portions d'égale longueur, ainsi que l'indique les *fig.* 12 et 13, *pl.* VI, non-seulement pour lui assurer une tension sensiblement constante, mais surtout pour que son poids n'ait pas d'action sur cette tension.
- B La longueur totale du levier par l'intermédiaire duquel le ressort agit sur le régulateur (égale à $b + b_1$).
- b Le bras de levier de l'effort E.
- b_1 Le bras de levier de la tension réelle E_1 du ressort.
- O′ Une vitesse de régime quelconque.

En pratique, il arrivera toujours que la tension réelle du ressort ne sera pas exactement celle qui avait été prévue, de sorte que pour la vitesse maxima O, les bras de levier b et b_1 ne devront pas être rigoureusement égaux. On commencera par mesurer exactement à l'aide d'un dymamomètre ou à l'aide de poids, quelle est la tension E_1 du ressort quand le levier B est horizontal. Cette tension étant

connue les bras de leviers seront déterminés par la proportion :

$$\frac{E}{E'} = \frac{b}{b_1};$$

d'où :

$$b_1 = B \times \frac{E}{E + E_1}, \quad \text{et} \quad b = B \times \frac{E_1}{E + E_1}.$$

On pourra ensuite faire la graduation et trouver la position du point d'appui pour diverses valeurs O' de la vitesse, car on a [égalité (2) du n° 43_2] :

$$\frac{E}{E'} = \frac{O^2}{O'^2}; \quad \text{d'où :} \quad E' = E\,\frac{O'^2}{O^2}.$$

En remplaçant E par sa valeur en fonction de E_1, il vient :

$$E' = E_1\,\frac{b_1}{b} \times \frac{O'^2}{O^2}.$$

La tension E' et la tension E_1 agissant aux extrémités des nouveaux bras de levier b' et b'_1, on a :

$$\frac{E'}{E_1} = \frac{b'_1}{b'}; \quad \text{d'où :} \quad \frac{b_1 O'^2}{b O^2} = \frac{b'_1}{b'},$$

Et par suite en remarquant que $b'_1 + b' = B$, il vient :

$$b' = bO^2 \times \frac{B}{b_1 O'^2 + bO^2}, \quad \text{et} \quad b'_1 = b_1 O'^2 \times \frac{B}{b_1 O'^2 + bO^2}.$$

En opérant de même, on trouvera les distances du point d'appui du levier B à l'axe du régulateur et au point d'attache du ressort, pour toutes les valeurs qu'on voudra donner à O. Il demeure bien entendu que c'est le point d'appui qui se déplace et non le levier B lui-même.

Lorsque le régulateur est construit il faut équilibrer statiquement ses poids ; à cet effet, la valve étant déclanchée, on place l'instrument dans sa position moyenne d'oscillation, et on met de la grenaille de plomb dans les cavités ménagées sur le manchon d'entraînement. L'instrument étant ensuite placé alternativement dans chacune de ses positions extrêmes, on voit s'il y a lieu de changer de place dans les cavités du manchon, une partie de la charge additionnelle, pour que le régulateur soit en équilibre dans ses deux positions extrêmes aussi bien que dans sa position moyenne d'oscil-

lation. Quand au cylindre-frein, sa construction ne présente aucune difficulté ; mais il faut remarquer que le poids de son piston et de sa tige creuse, doivent entrer en ligne de compte dans l'équilibration statique des poids du régulateur. Enfin on règlera les contre-poids pour équilibrer le levier B et la fourchette qui embrasse le manchon d'entraînement, ainsi que les divers leviers de la transmission de mouvement du régulateur à la valve.

N° 43, Conclusions pour son emploi. — Le régulateur *Farcot* est indifférent à l'action de la pesanteur et permet de faire varier à volonté l'allure de la machine ; cet instrument est par suite applicable aux appareils à vapeur de navigation, comme aux machines fixes. C'est d'ailleurs le seul qui ait été employé avec quelques succès sur les machines marines. Il peut être doué d'une grande sensibilité ; quant à sa vivacité, on a vu qu'elle était trop grande et qu'il fallait la diminuer à l'aide d'un frein à air. Ce frein est assez difficile à régler lorsque le régulateur conduit directement la valve et qu'on a besoin de changer fréquemment l'allure de l'appareil moteur, comme cela arrive dans les évolutions d'escadre. D'ailleurs, si l'appareil moteur est puissant, la résistance de la valve est considérable et il en est de même de son inertie. Dans ce cas, le frein ne fonctionne jamais d'une manière complétement satisfaisante. M. *Farcot* a fait disparaître cet inconvénient par l'emploi de l'appareil qu'il a nommé *servo-moteur* (n° 44), au moyen duquel le régulateur n'a jamais à vaincre qu'une résistance très-faible, ce qui facilite le réglage du frein à air, et qui permet même de supprimer son fonctionnement.

Les régulateurs *Farcot* appliqués aux machines marines reçoivent leur mouvement de rotation de l'arbre des tiroirs, lorsque la machine possède un arbre spécial pour ces organes, et à l'aide d'une transmission à engrenages coniques avec déclanche. Une première roue montée sur l'arbre des tiroirs actionne un pignon monté fou sur un axe intermédiaire, à l'extrémité duquel se trouve fixé un deuxième pignon qui actionne celui du régulateur. L'entraînement de l'axe intermédiaire est produit par le frottement de deux cônes qui s'emmanchent l'un dans l'autre ; le cône extérieur fait corps avec le pignon qui reçoit le mouvement de l'arbre, le cône intérieur peut glisser sur l'axe et l'entraîne, quand les deux cônes sont en prise, par l'intermédiaire de clavettes longitudinales. — Les deux cônes sont pressés l'un dans l'autre par l'action d'un fort ressort à boudin

enroulé sur l'axe des pignons; un levier coudé terminé par une fourchette permet de désembrayer les deux cônes et de mettre le régulateur au repos. Le déclanchement s'opère très-facilement; mais avant d'effectuer cette opération, il faut avoir soin de manœuvrer la valve indépendante du régulateur et de réduire le passage de la vapeur jusqu'à ce que la vitesse soit un peu diminuée. Sans cette précaution, la vitesse de la machine s'accélérerait brusquement au moment du déclanchement du régulateur, qui, en venant au repos, ouvre la valve en grand.

L'enclanchement du régulateur est une opération des plus délicate, et exige que la vitesse soit considérablement réduite au moyen de la valve indépendante; sans cette précaution, on briserait les dents d'engrenage de la transmission. Le régulateur étant préalablement réglé pour la vitesse de régime, on ouvre peu à peu la valve indépendante dès que l'enclanchement est opéré, et on place cette valve dans sa position d'ouverture en grand.

Ajoutons que le mouvement de l'arbre des tiroirs est loin d'être toujours aussi régulier que celui de l'arbre moteur. Il tend à se produire sur cet arbre spécial, surtout quand les tiroirs sont conduits par des excentriques, des décalages que le frein de la mise en train ne réussit pas toujours à empêcher. Cette circonstance n'est pas nuisible en pratique, au bon fonctionnement du régulateur dont toutes les parties sont ainsi maintenues dans un état constant d'oscillation qui empêche les articulations de se gommer; mais il en résulte une plus grande dépense de vapeur dans le cylindre du *servo-moteur*, lorsque le régulateur est muni de cet appareil.

Sur quelques machines de faible puissance, sans arbre spécial pour les tiroirs, le régulateur reçoit son mouvement de l'arbre moteur par l'intermédiaire d'engrenages coniques et d'une transmission à courroie. Il va de soi, qu'il faut prendre pour enclancher ou déclancher le régulateur les précautions que nous avons indiquées ci-dessus. Le déclanchement s'opère d'ailleurs en faisant tomber la courroie, et l'enclanchement en la remettant en place sur la poulie. Assez souvent, la courroie est munie d'un tendeur, comme sur la *fig.* 13, *pl.* VI; il suffit alors d'appuyer fortement le tendeur pour produire l'entraînement du régulateur, ou bien de le desserrer complétement pour mettre le régulateur au repos.

Sur tous les bâtiments où il a été appliqué, le régulateur *Farcot* a donné de très-bons résultats, le nombre de tours ne variant pas

de plus de $\frac{1}{10}$ par minute lors de la marche à toute puissance par calme. Théoriquement, la sensibilité du régulateur peut varier en raison inverse du carré des vitesses; de telle sorte que si cet écart de $\frac{1}{10}$ n'a pas été dépassé à l'allure de 60 tours par exemple, il pourra se produire à 30 tours, un écart égal à $\frac{1}{10} \times \frac{60^2}{30^2} = \frac{4}{10}$; mais en pratique, à cause de l'inertie des pièces de la transmission de mouvement, et de l'inertie de la valve quand elle est conduite directement, cet écart peut être augmenté. Or un régulateur qui ne maintient pas un écart de vitesse inférieur à un demi-tour par minute est presque inutile, car par une manœuvre intelligente de la valve, les mécaniciens ne laissent jamais subsister un écart plus grand. Il résulte de ces observations que le régulateur *Farcot* doit être déclanché lors d'une marche soutenue à une allure inférieure à la moitié de l'allure à toute puissance.

Par gros temps, lorsque l'immersion du propulseur change brusquement, le régulateur *Farcot* peut encore être employé, à la condition que l'allure soit modérée, et qu'on joigne à son action celle de la valve indépendante. Mais dans la plupart des cas, et surtout si l'allure de la machine doit être assez grande, il faut supprimer le fonctionnement du régulateur, et marcher à pleine introduction en étranglant la vapeur par la valve; il importe moins en effet en pareille circonstance, d'empêcher la machine de dépasser un nombre de tours déterminé lors de l'immersion partielle ou totale du propulseur, que d'éviter les chocs résultant de l'ouverture brusque de la valve, au moment où le propulseur s'immergeant fortement l'allure de la machine est considérablement réduite.

N° 44. — 1. Servo-moteur Farcot : son but. — 2. Sa description. — 3. Son fonctionnement. — 4. Détermination de ses éléments.

N° 44_1 Servo-moteur Farcot : son but. — L'application des régulateurs aux machines marines présente déjà de grandes difficultés lorsqu'il s'agit de faire conduire par le régulateur lui-même, la valve d'une machine de moyenne puissance; mais pour des appareils de 500 à 1.000 chevaux nominaux, cela devient tout à fait impraticable, et il a fallu chercher un auxiliaire à la fois puissant et

obéissant, pour manœuvrer les valves de ces appareils. Depuis longtemps déjà, MM. *Farcot* avaient imaginé d'employer dans ce but un cylindre à vapeur dont le tiroir était conduit par le régulateur; mais après quelques expériences, ils reconnurent que le piston de ce cylindre étant, comme dans toute machine, abandonné à lui-même pendant sa course, et restant indépendant du régulateur qui ne conduit que le tiroir, devenait tout à fait instable dans son mouvement, et passait instantanément, sans motif, ou pour la moindre ouverture du tiroir, d'une extrémité à l'autre de sa course. — Il en résultait qu'alors que la valve n'aurait dû être manœuvrée que d'une faible quantité, pour réprimer l'écart de vitesse qui venait de se produire, cette valve se trouvait tout d'un coup porté à l'une des extrémités de sa course. L'agent moteur de la valve produisait ainsi, comme les régulateurs isochrones d'une trop grande activité, des oscillations à longue période.

Après plusieurs essais infructueux pour corriger ce défaut, MM. *Farcot* se sont directement attaqués à la cause de l'instabilité du moteur auxiliaire. Ils ont résumé le programme de leurs recherches de la manière suivante :

Asservir tout moteur au gouvernement absolu d'un conducteur en faisant cheminer directement ou par un intermédiaire quelconque, la main de celui-ci avec l'organe sur lequel agit le moteur, de telle sorte que tous deux marchent, s'arrêtent, reculent, reviennent ensemble, et que le moteur suive pas à pas le doigt indicateur du conducteur dont il imite servilement tous les gestes.

Ce programme a été rempli, et MM. *Farcot* ont construit l'appareil auquel ils ont donné le nom de ***servo-moteur*** ou ***moteur asservi***. Nous pouvons ajouter que c'est grâce à cet appareil que les machines puissantes peuvent être dotées d'un régulateur isochrone; mais là ne se borne pas ses applications, et MM. *Farcot* l'ont déjà utilement employé soit à la manœuvre des monte-charges, soit à la manœuvre des gouvernails. — Nous ne nous occuperons ici que de l'appareil conduit par un régulateur et appliqué à la manœuvre des valves des machines marines, nous réservant d'étudier au n° 66_4, l'application du servo-moteur à la manœuvre du gouvernail.

N° 44_2 Sa description. — Pour faciliter la description de cet appareil, nous en avons tracé une vue oblique *fig.* 16 en nous bornant à représenter les divers leviers de la transmission du mouvement par leurs lignes d'axes. Le ***servo-moteur*** comprend trois parties

principales : ***Le cylindre à vapeur et ses accessoires. — La transmission de mouvement du servo-moteur à la valve de la machine. — La transmission de mouvement du régulateur au tiroir du servo-moteur.***

1° Cylindre a vapeur et ses accessoires.

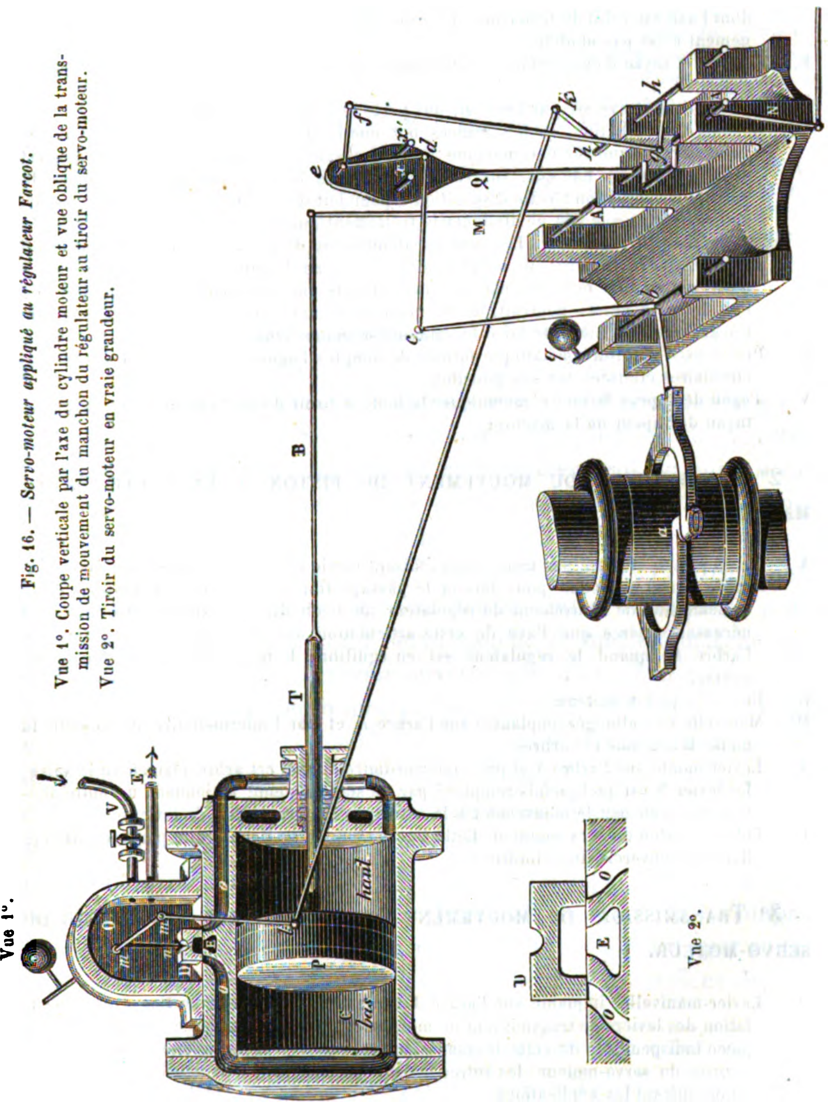


Fig. 16. — *Servo-moteur appliqué au régulateur Farcot.*

Vue 1°. Coupe verticale par l'axe du cylindre moteur et vue oblique de la transmission de mouvement du manchon du régulateur au tiroir du servo-moteur.

Vue 2°. Tiroir du servo-moteur en vraie grandeur.

C Cylindre à vapeur.

D Tiroir en coquille ordinaire, ayant un demi-millimètre de recouvrement à l'évacuation et autant de découvrement à l'introduction. La vue 2° représente en grandeur natu-

relle, le tiroir du servo-moteur appliqué sur l'*Océan*. Cette disposition a pour but de maintenir une pression égale sur les deux faces du piston, lorsque le régulateur est en équilibre et que la valve de la machine doit rester immobile. Le tiroir n'a pas de tige ; il est conduit par le levier *mn*, dont l'axe d'oscillation est parallèle à la glace du cylindre et perpendiculaire à la direction de la course du tiroir; cette course est limitée à deux fois la hauteur d'un orifice. Sur les appareils récents, la glace du cylindre n'est pas plane; elle a la forme d'une partie de surface cylindrique dont l'axe est celui du levier *mn*; le tiroir affecte la même forme, mais son fonctionnement n'est pas modifié.

E,E' Conduit et tuyau d'évacuation, communiquant avec le conduit d'évacuation du cylindre avant.

O Boîte à tiroir traversée par l'axe *m*, qui porte le levier de manœuvre du tiroir.

o Orifices d'introduction. — Ces orifices ont une hauteur très-faible : 3mm pour un régulateur appliqué sur une machine de 950 chevaux nominaux. Leur longueur est égale à 9 fois la hauteur. On remarque que ces orifices sont très-rapprochés du conduit d'évacuation ; cette disposition a pour but de permettre de réduire les dimensions du tiroir afin de diminuer le frottement qui est la seule résistance opposée à l'action du régulateur. Les orifices aboutissent d'ailleurs au bas du fond et du couvercle du cylindre; ils servent ainsi de tuyau de purge pendant les périodes d'évacuation. Le cylindre n'a pas de robinets purgeurs parce que l'ouverture de l'un de ces robinets pourrait, à un moment donné, arrêter le fonctionnement de l'instrument, ou même le faire fonctionner à contre-sens.

P Piston avec garniture métallique formée de simples bagues noyées dans des rainures circulaires creusées sur son pourtour.

V Tuyau de vapeur faisant communiquer la boîte à tiroir du servo-moteur avec le grand tuyau de vapeur de la machine.

2° Transmission du mouvement du piston a la valve de la machine.

A Arbre principal porté par trois paliers faisant partie d'une même plaque de fonte. Cet arbre porte un coude pour laisser le passage libre à l'une des articulations de la transmission de mouvement du régulateur au tiroir du servo-moteur. Ce coude est nécessaire parce que l'axe de cette articulation doit se confondre avec l'axe de l'arbre A, quand le régulateur est en équilibre, le tiroir du servo-moteur à mi-course.

B Bielle du piston moteur.

M Manivelle très-allongée implantée sur l'arbre A et par l'intermédiaire de laquelle la bielle B actionne cet arbre.

N Levier monté sur l'arbre A et par l'intermédiaire duquel cet arbre manœuvre la valve. Le levier N est quelquefois remplacé par un secteur denté actionnant un autre secteur qui transmet le mouvement à la valve par l'intermédiaire de leviers.

T Tige de piston du servo-moteur. Cette tige est guidée en ligne droite par une glissière fixée au couvercle du cylindre.

3° Transmission de mouvement du régulateur au tiroir du servo-moteur.

Q Levier-manivelle, implanté sur l'arbre A et destiné à supporter un des axes d'oscillation des leviers de transmission de mouvement. C'est à proprement parler, la seule pièce indispensable de cette transmission, et que l'on retrouve dans toutes les *variantes* du servo-moteur; les autres leviers peuvent varier de nombre ou de disposition suivant les applications.

abc, *def*, *ghk*, *lmn* Mouvements de sonnette dont les axes d'oscillations sont *b*, *e*, *h*, *m*. Les axes *b*, *h* et *m*, sont fixes de position et ne peuvent que tourner sur eux-mêmes. L'axe *e* est placé sur la manivelle Q; cette dernière est montée sur l'arbre

A et oscille avec cet arbre; il en résulte que l'axe *e* se déplace avec la manivelle Q, lorsque la vapeur actionne le piston du servo-moteur et que ce piston manœuvre la valve de la machine.

ab Levier qui reçoit le mouvement du manchon d'entraînement du régulateur.

cd Bielle qui transmet le mouvement du coude *abc*, au coude *def*. Le mouvement d'oscillation du levier *cd* est limité tant que la manivelle Q ne bouge pas, par les deux taquets *x* et *x'*, implantés sur cette manivelle.

fg Bielle qui transmet le mouvement du coude *def*, au coude *ghk*. Le levier *de* se trouve à égale distance des taquets *x* et *x'* et le pied *g*, de la bielle *fg*, se trouve sur l'axe de l'arbre A, lorsque le tiroir du servo-moteur est à mi-course. Il est nécessaire qu'il en soit ainsi pour que le tiroir du servo-moteur puisse être placé à mi-course, dans toutes les positions d'équilibre que peut prendre le régulateur, et quelle que soit, par suite, la position de la manivelle Q. La réalisation de cette condition nécessite le coude de l'arbre A pour livrer passage à l'articulation *g*.

kl Bielle qui transmet le mouvement du coude *ghk* au levier *lm*. L'axe *m* est partie dans la boîte à tiroir et partie en dehors de cette boîte; le levier *lm* est extérieur, le levier *mn* est intérieur et le tiroir reçoit son mouvement de ce dernier levier.

q Contre-poids d'équilibration des divers leviers ou bielles de la transmission de mouvement pour que le poids de ces pièces n'ait aucune action sur le mouvement du régulateur.

N° 44_3 Son fonctionnement. — Lorsque le régulateur est en équilibre, le tiroir du servo-moteur est à mi-course; le levier *de* se trouve à égale distance des taquets *x* et *x'* et l'articulation *g* est sur l'axe de l'arbre A. S'il survient une augmentation de vitesse, l'extrémité *a* du levier *ab* s'élève et le mouvement du point *a* est transmis au tiroir, qui se déplace sur la droite en ouvrant l'introduction du bas et l'évacuation du haut. Bien avant que le tiroir ait atteint la fin de sa course, et par suite avant que les orifices soient ouverts en grand, le levier *de* vient butter contre le taquet *x'*, de sorte que lorsque le piston du servo-moteur se met en marche, les orifices de son cylindre ne sont ouverts que d'une faible quantité. Dès que le piston du servo-moteur avance, l'arbre A tourne et l'ouverture de la valve de la machine est diminuée. Dans le mouvement de l'arbre A, la manivelle Q qui porte l'axe d'oscillation du coude *def*, se déplace dans le même sens que la manivelle M, c'est-à-dire sur la droite pour le cas qui nous occupe. Aux premiers instants du mouvement de l'arbre A, l'écart de vitesse n'a pu être corrigé; le régulateur continuant d'agir sur le levier *ab*, le levier *de* accompagne le taquet *x'*, à mesure que la manivelle Q se déplace; par suite, le tiroir du servo-moteur ouvre de plus en plus les orifices du cylindre.

Lorsque le passage de la vapeur par l'orifice de la valve est suffisamment réduit, le régulateur prend sa position d'équilibre et le levier *ab* devient immobile. A ce moment, la vitesse est encore un peu supérieure à sa valeur normale, mais d'une quantité insuffisante

pour que l'excès de force centrifuge entretienne le mouvement du régulateur. Le piston du servo-moteur étant toujours soumis à l'action de la vapeur, ce piston continue sa marche et l'arbre A ainsi que la manivelle Q tournent encore. Le coude *abc* étant immobile et l'axe *e* du coude *def* se déplaçant avec la manivelle Q. Ce coude *def* se meut autour de son axe *e*, exactement comme si cet axe était fixe et que le levier *ed* fût tiré par la bielle *cd*. Le tiroir du servo-moteur est donc ramené vers la gauche; l'orifice d'introduction du bas et l'orifice d'évacuation du haut se ferment peu à peu. Le tiroir arrive à sa demi-course; les deux orifices d'évacuation sont fermés et les deux orifices d'introduction sont ouverts; les deux faces du piston sont soumises à l'action de la vapeur et ce piston s'arrête.

S'il se produit un ralentissement, le levier *ab* s'abaisse, et le mouvement du point *a* est transmis au tiroir, qui se déplace sur la gauche jusqu'à ce que le levier *ed* soit venu rencontrer le taquet *x*, l'orifice d'introduction du haut et l'orifice d'évacuation du bas étant ouverts d'une petite quantité. Le piston du servo-moteur se met en marche de droite à gauche et l'orifice de la valve de la machine s'ouvre de plus en plus. Au premier instant du mouvement de l'arbre A, la vitesse de rotation est encore trop faible; le régulateur continuant d'agir sur le levier *ab*, le levier *ed* accompagne le taquet *x* et le tiroir du servo-moteur ouvre de plus en plus les orifices du cylindre, jusqu'à ce que le régulateur ait pris sa position d'équilibre, la vitesse étant encore un peu inférieure à la vitesse de régime. Dès que le levier *ab* reste immobile, le mouvement de l'axe *e* agit sur le tiroir du servo-moteur, comme si la bielle *cd* poussait le levier *de*; le tiroir vient de nouveau se placer à mi-course, et la valve reste dans la position qu'elle occupe, jusqu'à ce qu'il se produise dans la vitesse de rotation, un nouvel écart capable de déterminer le fonctionnement de l'appareil.

Le servo-moteur complète heureusement le régulateur *Farcot*. Ce régulateur peut être employé quelle que soit la puissance de la machine, car il suffit de donner au cylindre du servo-moteur des dimensions en rapport avec la résistance de la valve; de plus, ce régulateur peut toujours être très-sensible puisque la seule résistance qu'il ait à vaincre est celle du tiroir du servo-moteur et de sa transmission de mouvement, et que cette résistance est relativement très-faible. Enfin, le servo-moteur annule complétement l'état d'instabilité dans lequel se trouverait le régulateur s'il manœuvrait di-

rectement la valve, ou même le tiroir du servo-moteur sans l'intermédiaire de la manivelle Q et des deux taquets que porte cette manivelle. Avec le servo-moteur, l'action du frein à air se réduit à empêcher le levier *ed* de venir rencontrer brusquement les taquets x et x'.

N° 44$_4$ Détermination de ses éléments. — Le diamètre du cylindre du servo-moteur doit être déterminé eu égard à la pression de la vapeur, à la résistance à vaincre et au rapport des bras des leviers par l'intermédiaire desquels la pression effective dans le cylindre doit vaincre cette résistance. Or ce rapport ne peut être connu qu'après qu'on a construit l'épure de la transmission de mouvement du régulateur au tiroir du servo-moteur.

On commencera par mesurer l'amplitude du mouvement du manchon d'entraînement sur l'axe du régulateur, l'amplitude de l'oscillation des boules étant de 12 degrés environ. La course du tiroir du servo-moteur peut être prise égale à 6^{mm}, quitte à régler la longueur des orifices pour que leur section totale soit comprise entre 1/12 et 1/15 de la surface du piston. La course du tiroir et celle du manchon du régulateur étant connues, les longueurs des divers leviers de la transmission de mouvement peuvent être réglés de la manière suivante :

$ab = be = 2$ fois la course du manchon d'entraînement du régulateur,

$$ed = df = gh = hk = mn = \frac{ab}{3},$$

$$\frac{ml}{mn} = \frac{\text{course du manchon}}{\text{course du tiroir}}.$$

En plaçant le manchon d'entraînement au milieu de sa course, les leviers *ab* et *gh* sont horizontaux, et le levier *mn* est vertical, le tiroir étant d'ailleurs à mi-course. L'axe de l'arbre A peut être mis à une distance quelconque du régulateur, mais perpendiculairement au levier *ab*, et dans son plan horizontal; en pratique, il suffit que la distance précitée soit égale à $2ab$; elle est même quelquefois un peu moindre. Les axes *bb* et *hh* sont aussi situés dans le plan précédent et sont parallèles à l'arbre A. La distance de l'axe *hh* à l'arbre A est égale à $gh = \frac{ab}{3}$, afin que l'articulation *g* soit sur l'axe de l'arbre A.

Il convient que, lorsque le régulateur est dans sa position moyenne d'oscillation, le tiroir du servo-moteur à mi-course, les bielles soient respectivement perpendiculaires à leurs leviers; l'axe de la manivelle Q doit d'ailleurs se confondre à ce moment avec le levier *ed*. Dans cette position du régulateur, la longueur de la bielle *lk* et les positions des leviers *ml* et *hk* seront déterminées par la tangente commune intérieure aux circonférences de rayon *lm* et *hk*.— La bielle *fg* est verticale et passe par le point *g* qui est sur l'axe de l'arbre A. Le centre *e* est sur une parallèle à *fg*,

distante de cette droite d'une quantité $ef = \frac{ab}{3}$; si la distance de l'axe du régulateur à l'axe de l'arbre A vaut $2ab = 2bc$, le centre e est distant de l'axe de l'arbre A d'une quantité égale à 1,55 ab (*). Ce centre étant déterminé, la position du levier ef est connue, puisque ce levier est horizontal comme le levier gh, et la longueur de la bielle fg est déterminée. Le levier ed est sur la droite eg qui représente l'axe de la manivelle Q; et la tangente commune intérieure aux circonférences de rayon ed et bc détermine la position du levier bc et la longueur de la bielle cd.

Pour connaître l'amplitude totale d'oscillation de l'arbre A, il faut placer le levier ab dans ses deux positions extrêmes, et déterminer les positions correspondantes du levier bc et celles de la manivelle Q. Il y a lieu de remarquer que si le tiroir reste à mi-course, l'articulation g demeure sur l'axe de l'arbre, et que par suite les articulations d et f, ainsi que le centre d'oscillation e décrivent des arcs de cercle autour du point g. — L'angle des deux positions extrêmes de la manivelle Q mesure l'amplitude de l'oscillation de l'arbre A, et il faut régler la transmission de mouvement à la valve pour qu'étant fermée pour la position extrême à droite de la manivelle Q, elle soit ouverte en grand pour la position extrême à gauche de cette manivelle. — La course du piston du servo-moteur sera déterminée d'après la longueur de la manivelle M, pour que cette course corresponde à l'amplitude d'oscillation de cette manivelle; et les renvois de mouvement du piston à la valve étant déterminés, on pourra calculer la surface du piston moteur. On remarquera d'ailleurs que la position de l'axe mm qui traverse la boîte à tiroir, peut être modifié d'après les dimensions du cylindre, à la condition qu'on détermine à nouveau la position des leviers ml et hk, ainsi que la longueur de la bielle lk.

La course du tiroir étant de 6mm, la hauteur d'un orifice réglée à 3mm, on donnera au tiroir 1 demi-millimètre de découvrement à l'introduction et autant de recouvrement à l'évacuation. Le conduit d'évacuation pourra avoir une hauteur égale à celle des orifices, et ces derniers seront suffisamment rapprochés si la distance entre leurs bords intérieurs est égale à une fois et demie la course du tiroir. La position des taquets x et x' sera déterminée pour donner 1 millimètre d'ouverture à l'évacuation, ce qui exige un déplacement de cet organe égal à 1 millimètre et demi dans les deux sens. Après avoir réglé l'épaisseur du levier ed, on fera marcher le tiroir à droite

---

(*) En général, si on représente par :

R la longueur du levier $ab = bc$.
r la longueur du levier $cd = ef$.
D la distance de l'arbre bb à l'arbre A.
$x =$ la longueur eg qui sert à déterminer le point e.

on a :

$$x = \frac{R + r + \sqrt{(R + r)^2 + 4Dr}}{2}.$$

et à gauche de la quantité ci-dessus, en traçant les positions correspondantes de la transmission de mouvement, jusqu'au levier *ed*, la manivelle Q restant immobile. Le jeu des articulations doit être réglé avec le plus grand soin, car si ce jeu arrivait à absorber le millimètre d'ouverture de l'orifice d'évacuation, le servo-moteur ne pourrait plus fonctionner.

N° 45. — 1. Régulateur à force centrifuge et à action discontinue du Creusot : sa description. — 2. Indifférence à l'action de la pesanteur et non-isochronisme de l'instrument. — 3. Son mode de fonctionnement. — 4. Détermination de ses éléments. — 5. Conclusions pour son emploi.

N° 45_1 Régulateur à force centrifuge et à action discontinue du Creusot : sa description. — Le régulateur à force centrifuge et à action discontinue appliqué par l'usine du *Creusot* sur quelques machines marines, n'a pas pour but de maintenir le nombre de tours constant; il est seulement destiné à limiter la vitesse maxima de la machine, dans le cas où l'hélice serait considérablement émergée ou bien brisée. L'appareil moteur a des valves ordinaires, indépendantes du régulateur, et au moyen desquelles on règle le nombre de tours. Le régulateur du *Creusot* dont il est ici question, est représenté par la *fig.* 15, *pl.* VI, dont voici la légende :

AA'A'' Axe du régulateur en trois parties. Les deux parties extrêmes A et A'' sont pleines; la partie intermédiaire A' est un tube invariablement fixé sur les parties pleines par ses deux extrémités, de sorte que l'ensemble forme un tout rigide et se comporte comme si l'axe était d'une seule pièce. Fig. 15 Pl. VI.

A_1 Axe placé dans l'intérieur du tube A' et sur lequel sont montés, au moyen de clavetages fixes : 1° le manchon *e'* qui porte les articulations inférieures des bielles, et qui, en s'élevant ou s'abaissant, suivant la variation d'écartement des boules, fait monter ou descendre l'axe A_1 dans l'intérieur du tube A'; 2° les manchons *f* et *f'* qui servent d'appui à deux ressorts F, F' par l'intermédiaire desquels l'axe intérieur A_1 fait monter ou descendre la came M qui doit actionner les leviers de manœuvre de la valve. Comme les manchons *e'*, *f* et *f'* sont extérieurs au tube A', ce dernier est percé de fenêtres rectangulaires pour laisser circuler librement les clavettes de ces manchons.

a Arbre auxiliaire par l'intermédiaire duquel le régulateur reçoit son mouvement de l'arbre moteur, au moyen d'un engrenage conique et d'un engrenage cylindrique qui ne figure pas sur le dessin.

B Boules du régulateur, au nombre de quatre, de même diamètre et dont les poids s'équilibrent deux à deux.

b, *b* Bras du régulateur dont les extrémités portent des boules. Ces bras ont un axe d'oscillation commun qui se trouve sur l'axe même du régulateur. Ce dernier porte, à cet effet, un œil pour le passage des bras.

b', *b'* Prolongements supérieurs des bras, armés de boules à leurs extrémités. Ces prolongements ont une longueur égale à celle des bras.

b_1, b_1 Bielles du régulateur d'une longueur double de celle des bras. Ces bielles sont articulées sur les centres mêmes des boules portées par les bras; leurs articulations inférieures sont sur le manchon *e'*, à une distance de l'axe de rotation égale à environ un quart de la longueur des bras.

C Cylindre à vapeur de la machine.

D Bâti du régulateur.

d Crapaudine servant d'appui et de guide inférieur à l'axe du régulateur.

d' Crapaudine servant d'appui et de guide inférieur à l'axe N de manœuvre de la valve.



E Ressort dont l'action doit faire équilibre à la force centrifuge.

e Écrou taraudé sur l'axe A ; cet écrou sert de point d'appui au ressort E, en même temps qu'il permet de régler la tension de ce ressort.

e' Manchon qui porte les articulations inférieures des bielles du régulateur et par l'intermédiaire duquel le ressort E est comprimé lorsque les boules s'écartent sous l'action de la force centrifuge.

F,F' Ressorts par l'intermédiaire desquels l'axe intérieur A_1 fait monter ou descendre la came M.

f Manchon extérieur au tube A' et claveté sur l'axe intérieur A_1, pour servir de point d'appui au ressort F'.

f' Manchon extérieur au tube A' et claveté sur l'axe intérieur A_1, pour servir de point d'appui au ressort F.

G Pièce fixée au faux pont et portant des douilles garnies de coussinets.

g Douille servant de guide supérieur à l'axe du régulateur. Une petite rondelle goupillée sur l'axe A, en dessous du guide *g*, empêche cet axe d'être soulevé.

g' Douille servant de guide supérieur à l'axe N de manœuvre de la valve. Une petite rondelle goupillée sur l'axe N, en dessous du guide *g'*, empêche cet axe d'être soulevé.

L Levier monté sur l'axe N et actionné par la came M, au moment où doit s'opérer l'ouverture en grand de la valve mue par le régulateur.

L' Levier monté sur l'axe N et actionné par la came M, au moment où doit s'opérer la fermeture complète de la valve mue par le régulateur.

L_1, L'_1, *l* Leviers et bielle de transmission de mouvement de l'axe N à la valve du régulateur.

M Came mue par le régulateur : cette came s'élève quand les boules s'écartent sous l'influence de l'augmentation de la vitesse, et s'abaisse quand les boules se rapprochent sous l'influence d'un ralentissement. Pour chacune des valeurs extrêmes que la vitesse de la machine ne doit pas dépasser, cette came actionne dans le mouvement de rotation que lui imprime l'axe du régulateur, le levier L ou le levier L'; mais elle est sans action sur la valve pour toutes les valeurs intermédiaires de la vitesse de rotation. La came M est élevée ou abaissée par l'axe intérieur A_1 du régulateur, et par l'intermédiaire des ressorts F et F'. A cet effet, le manchon *m* qui porte la came M, est muni d'une clavette qui traverse le tube A et l'axe A_1, et au moyen de laquelle ce manchon est entraîné dans le mouvement de rotation du régulateur. Cette clavette peut se mouvoir verticalement dans des mortaises rectangulaires pratiquées sur le tube A' et sur l'axe A_1, et le manchon *m* n'est maintenu à son poste que par la tension des ressorts F et F'. Cette disposition a pour but d'éviter les ruptures qui pourraient résulter de la rencontre de la came M avec les leviers L et L', lorsque cette came se déplace sur l'axe du régulateur. Si cette rencontre a lieu, avec le levier supérieur L', par exemple, lors d'une accélération, le ressort inférieur F' est comprimé, et la came glisse sous le levier L', remonte lorsqu'elle l'a dépassé, et actionne ce levier au tour suivant, pour fermer la valve. Pareille chose a lieu lorsque la came rencontre le levier inférieur L.

m Manchon qui porte la came M ; ce manchon embrasse le tube A'; il n'est maintenu dans le sens vertical, et pour les raisons expliquées ci-dessus en M, que par la tension des ressorts F et F'.

O Boîte à tiroir de la machine.

O' Boîte à détente de la machine.

R Roue d'angle horizontale montée sur la partie A" de l'axe du régulateur.

R' Roue d'angle verticale montée sur l'arbre auxiliaire *a*.

V Tuyau de vapeur venant des chaudières, et sur lequel se trouve placé la valve mue par le régulateur.

V' Tuyau de vapeur particulier de chaque cylindre.

v Valve conduite par le régulateur. — Pour diminuer la résistance de la valve due au frottement provenant de l'action de la vapeur sur cet organe, l'obturateur qui nous occupe a la forme d'une lanterne percée de six orifices. Cette valve présente ceci de particulier, que son obturation n'est pas complète lors de la fermeture en grand, afin que la machine ne soit jamais complétement privée de vapeur. — Dans cette position de la valve, le passage de la vapeur est calculé pour que la quantité de

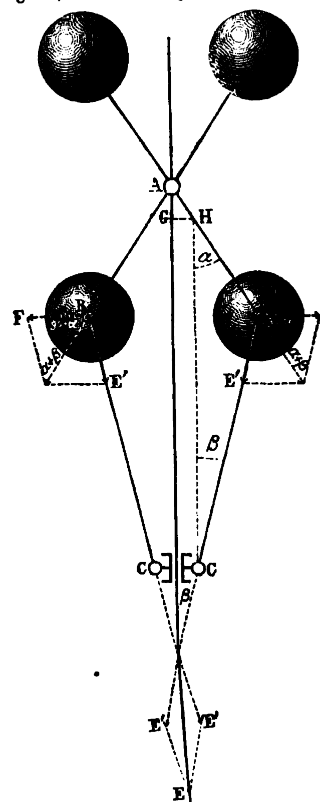
fluide qui arrive au cylindre soit suffisante pour vaincre les résistances propres de la machine et entretenir le mouvement à la vitesse de régime, en supposant que toute résistance utile a cessé.

v' Valve de la machine indépendante du régulateur et au moyen de laquelle on règle le nombre de tours.

N° 45, Indifférence à l'action de la pesanteur et non-isochronisme de l'instrument. — Le régulateur du *Creusot*, diffère des régulateurs ordinaires en ce que les bielles ont une longueur plus grande que celle des bras; ces derniers et leurs prolongements supérieurs sont armés de quatre boules qui s'équilibrent deux à deux autour de l'axe d'oscillation, ce qui rend le fonctionnement de l'instrument indépendant de l'action de la pesanteur.

Représentons par (*fig.* 17) :

Fig. 17, *relative au régulateur du Creusot.*



- 2P Le poids des deux boules égales qui s'équilibrent sur le même bras.
- g L'accélération de la chute des graves.
- L La distance du centre d'oscillation des bras au centre des boules.
- l La longueur des bielles.
- D La distance de l'articulation inférieure des bielles à l'axe de rotation.
- O La vitesse angulaire du régulateur.
- K L'écart proportionnel de vitesse sous l'influence duquel la valve est fermée.
- α L'angle d'inclinaison des bras sur l'axe.
- β L'angle d'inclinaison des bielles sur l'axe.
- E La tension du ressort dont l'action fait équilibre à la force centrifuge.
- e Le coefficient de tension de ce ressort, ou sa variation de tension par unité d'allongement ou de raccourcissement.

La force centrifuge développée sur l'ensemble des deux boules du même bras a pour expression :

$$F = \frac{2P}{g} O^2 L \sin \alpha.$$

La tension E du ressort dont l'action fait équilibre à la force centrifuge, agit dans le sens de l'axe du régulateur; cette tension peut être décomposée en deux forces égales E' agissant suivant les bielles, et ayant pour valeur :

$$E' = \frac{E}{2 \cos \beta}.$$

Les forces E' étant transportées aux centres des boules, le régulateur

sera en équilibre lorsque la résultante des forces F et E′ qui agissent au même centre, suivra la direction du bras, ce qui exige qu'on ait :

$$\frac{F}{E'} = \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos\alpha};$$

d'où, en remplaçant E′ et F par leurs valeurs ci-dessus, et en développant $\sin(\alpha + \beta)$:

$$(1) \qquad 4\frac{P}{g}O^2 L \sin\alpha = E(\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta);$$

d'où :

$$O^2 = \frac{g}{4PL} \times E\frac{\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta}{\sin\alpha}.$$

Et pour que le régulateur fût isochrone, il faudrait que quelle que soit la valeur de l'angle α, on ait :

$$(2) \qquad E\frac{\operatorname{tang}\alpha + \operatorname{tang}\beta}{\sin\alpha} = \text{constante}.$$

Si on mène par le centre C de l'articulation inférieure de la bielle, une parallèle CH à l'axe de rotation, la portion AH du bras interceptée par cette parallèle, a pour valeur $\frac{D}{\sin\alpha}$; et le triangle HBC donne :

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{l}{L - \frac{D}{\sin\alpha}};$$

d'où :

$$\sin\beta = \frac{L\sin\alpha - D}{l};$$

par suite,

$$\cos\beta = \frac{\sqrt{l^2 - (L\sin\alpha - D)^2}}{l},$$

et

$$\operatorname{tang}\beta = \frac{L\sin\alpha - D}{\sqrt{l^2 - (L\sin\alpha - D)^2}}.$$

En portant cette valeur de $\operatorname{tang}\beta$ dans l'égalité (2), il vient :

$$E\left(\frac{1}{\cos\alpha} + \frac{L - \frac{D}{\sin\alpha}}{\sqrt{l^2 - (L\sin\alpha - D)^2}}\right) = \text{constante}.$$

Or si α augmente, la tension E du ressort augmente aussi, parce que ce ressort est comprimé ; la fraction $\frac{1}{\cos\alpha}$ devient également plus grande, et il en est de même de la deuxième fraction de la parenthèse, car le numérateur de cette fraction augmente, tandis que son dénominateur diminue.

Il en résulte que le premier membre de l'égalité (2) n'est pas constant, et que par suite le régulateur n'est pas isochrone.

N° 45₃ Son mode de fonctionnement. — D'après sa construction, le régulateur du *Creusot* n'a pas à vaincre la résistance de la valve, puisque la force nécessaire pour mouvoir cet organe est empruntée à la machine elle-même. Il n'y a donc pas lieu de tenir compte de cette résistance. La condition d'équilibre est d'après l'égalité (1) du n° 45₂ :

$$4\frac{P}{g}\,O^2L = E\,\frac{(\tang\alpha + \tang\beta)}{\sin\alpha}.$$

Or on a vu que le deuxième membre de cette égalité augmente ou diminue en même temps que l'angle α ; il faut donc que O^2 varie dans le même sens que cet angle. Par suite, s'il se produit une accélération, la force centrifuge deviendra plus grande ; les boules s'écarteront et la tension du ressort sera augmentée ; mais il faudra que non-seulement cette accélération persiste, mais qu'elle continue de croître pour que le régulateur prenne la position qui lui permet d'actionner la valve et de la fermer en grand. S'il se produit un ralentissement, la force centrifuge diminuera et la tension du ressort deviendra prépondérante ; les boules du régulateur se rapprocheront de l'axe de rotation, mais il faudra qu'il se produise une diminution continue de la vitesse pour que la came du régulateur descende jusqu'au point qui lui permet d'actionner le levier de manœuvre de la valve et de l'ouvrir en grand. Le régulateur du *Creusot* n'agissant pas d'une manière continue sur la valve, ne peut donc avoir d'autre but que de limiter les deux vitesses extrêmes en dehors desquelles la machine ne doit pas fonctionner ; mais son action sur la valve est nulle entre ces deux limites.

Dans ces conditions voici comment fonctionne ce régulateur.

Pour les machines marines, la vitesse de rotation est réglée par les valves ordinaires ; la valve du régulateur est ouverte en grand, et la came se meut entre les deux leviers L et L' *fig.* 15, *pl.* VI, quelles que soient les variations de la vitesse de régime, pourvu que la vitesse réelle n'atteigne pas sa limite maxima, si la vitesse augmente jusqu'à cette limite, les boules s'écartent de plus en plus, et font remonter le manchon *m*, qui entraîne la came par l'intermédiaire de l'axe intérieur A_1, et des ressorts F, F'. La came rencontre dans son mouvement de rotation, le levier supérieur L', et ferme l'obturateur. La vitesse ne tarde pas à diminuer, et l'action du ressort E étant plus forte que celle de la force centrifuge, le manchon *m* et la came M descendent ; la came rencontre dans son mouvement de rotation, le levier inférieur L, et ouvre de nouveau en grand la valve du régulateur ; mais le passage de la vapeur étant réglé par la valve ordinaire, le régulateur n'a aucune action pour fixer la limite inférieure de la vitesse. D'un autre côté, la valve du régulateur n'est pas étanche ; dans sa position de fermeture complète, cette valve laisse passer la quantité de vapeur nécessaire au fonctionnement de la machine pour l'allure maxima, en supposant que toute résistance du propulseur cesse, et que la

machine n'a plus à vaincre que ses frottements. Cette disposition a pour but de ne jamais priver complétement la machine de vapeur, afin d'éviter les chocs qui résulteraient d'une ouverture brusque de la valve, à la suite des ralentissements produits par l'immersion du propulseur qui suit, à un intervalle de quelques secondes, l'émersion qui occasionne l'accélération pour laquelle la valve est fermée.

Il peut se faire qu'en montant ou en descendant, la came vienne butter contre le levier L' ou le levier L, et si la liaison de cette came avec l'axe intérieur A_1 était rigide, il y aurait rupture, ou tout au moins torsion des leviers. C'est pour éviter cet inconvénient, que la came est entraînée par l'intermédiaire des ressorts F et F'. Si la came butte, en montant par exemple, le ressort F' se comprime, la came glisse sous le levier L', et remonte dès qu'elle l'a franchi; de sorte qu'un tour au plus, après la montée de la came, le levier est actionné et l'obturateur fermé. Le ressort F fonctionne à son tour, lorsque la came butte en descendant sur le levier L.

Ce régulateur est employé dans les machines qui conduisent les laminoirs, et pour lesquelles le travail résistant varie fréquemment et de quantités considérables. Dans ces machines il n'y a pas de valve indépendante de celle de l'instrument; le régulateur règle seul l'organe obturateur, l'ouvrant en grand dès que le fer est engagé dans les cylindres laminants et le fermant complétement dés que la résistance cesse ; dans ce dernier cas le mouvement de la machine se continue sous l'action de la vapeur que laisse encore passer la valve du régulateur, dans sa position de fermeture.

N° 45_4 Détermination de ses éléments. — Pour déterminer les éléments du régulateur qui nous occupe, il faut d'abord en tracer l'épure, en adoptant par exemple les rapports de la *fig.* 15, *pl.* VI, et se donner ou mesurer sur l'épure les quantités suivantes :

- P Le poids de chaque boule.
- L La longueur des bras.
- l La longueur des bielles qui vaut environ 2L.
- D La distance des articulations inférieures des bielles à l'axe de rotation.
- α_1 et α_2 Les valeurs minima et maxima de l'angle d'inclinaison des bras sur l'axe.
- β_1 et β_2 Les valeurs correspondantes de l'obliquité des bielles sur l'axe.
- h Le chemin fait par le manchon sur lequel les bielles sont articulées lorsque l'obliquité des bras sur l'axe passe de la valeur α_1 à la valeur α_2. Cette quantité représente la compression du ressort pendant le fonctionnement du régulateur.
- Ω La vitesse moyenne de régime du régulateur.
- K L'écart proportionnel de vitesse, de telle sorte que la vitesse maxima ne pourra dépasser $\Omega(1+K)$, et que la vitesse minima ne pourra descendre au-dessous de $\Omega(1-K)$, pourvu toutefois que dans ce dernier cas la production de vapeur soit suffisante.

Et on déterminera :

- E_1, E_2 Les tensions du ressort qui correspondent aux inclinaisons α_1 et α_2 des bras.
- e Le coefficient de tension du ressort qui est égal à $\frac{E_2 - E_1}{h}$.

La condition d'équilibre à la vitesse minima, la valve ouverte en grand est, d'après l'égalité (1) du n° 45_2 :

$$(1) \qquad 4\frac{P}{g}O^2(1-K)^2L = E_1\frac{\tan\alpha_1+\tan\beta_1}{\sin\alpha_1}.$$

La condition d'équilibre à la vitesse maxima, lorsque la valve est complétement fermée, est :

$$(2) \qquad 4\frac{P}{g}O^2(1+K)^2L = E_2\frac{\tan\alpha_2+\tan\beta_2}{\sin\alpha_2}.$$

Des égalités (1) et (2) on tire :

$$E_1 = \frac{4\frac{P}{g}O^2(1-K)^2L\sin\alpha_1}{\tan\alpha_1+\tan\beta_1},$$

$$E_2 = \frac{4\frac{P}{g}O^2(1+K)^2L\sin\alpha_2}{\tan\alpha_2+\tan\beta_2};$$

et par suite la valeur de :

$$e = \frac{E_2-E_1}{h}.$$

La longueur du ressort débandé devra dépasser la distance de l'écrou de réglage *e*, *fig.* 15, *pl.* VI, au manchon d'articulation des bielles, lors du minimum d'écartement des boules, de la quantité $\frac{E_1}{e}$.

Comme le ressort est la partie du régulateur la plus difficile à construire lorsqu'on n'est pas convenablement outillé, on peut modifier le poids des boules, lorsque ce ressort est construit et qu'on connaît son coefficient *e* de tension, et déterminer l'amplitude de l'oscillation des bras. On peut en effet, au moyen de l'écrou de réglage, donner au ressort construit et pour la valeur minimum de l'angle α, une certaine tension E_1 aussi rapprochée que possible de la valeur que cette tension doit avoir, et qui dans tous les cas sert à déterminer le poids correspondant de chaque boule par l'égalité (1) ci-dessus qui donne :

$$P = \frac{E_1 g}{4(1-K)^2O^2L}\times\frac{\tan\alpha_1+\tan\beta_1}{\sin\alpha_1}.$$

Ce poids connu, on pourra déterminer la valeur maxima α_2 de l'angle d'inclinaison des bras sur l'axe, et par suite la quantité *h* dont le ressort devra être comprimé, par l'égalité (2) ci-dessus qui donne :

$$\frac{4P}{g}O^2(1+K)^2L - E_2\frac{\tan\alpha_2+\tan\beta_2}{\sin\alpha_2} = 0.$$

A cet effet, on tracera plusieurs positions du régulateur, vers sa position extrême présumée, et on mesurera pour chaque position les valeurs correspondantes de α_2 et de β_2, ainsi que la quantité h dont le manchon inférieur aura marché, ce qui permettra de trouver la valeur correspondante de E_2. Car on a :

$$E_2 = E_1 + eh.$$

On portera ces valeurs dans l'égalité ci-dessus et on tracera une courbe des valeurs du premier membre de cette équation, en prenant les valeurs de α_2 pour abscisses ; les résultats négatifs étant portés au-dessous, et les résultats positifs au-dessus. Le point où la courbe coupera la ligne des abscisses donnera la valeur de l'angle α_2.

La distance des leviers de manœuvre que la came doit actionner, est réglée par la quantité h dont le manchon du régulateur se déplace pour passer d'une de ses positions extrêmes à l'autre. La tension des ressorts qui maintiennent la came à son poste est indifférente, pourvu que la longueur de ces ressorts soit convenablement réglée pour que les cames soient en prise avec un des leviers, dans chacune de ses positions extrêmes. Pour obtenir ce résultat les deux leviers peuvent être construits sur un manchon dont on trouvera facilement la position sur l'axe de transmission de mouvement, lorsque le régulateur est au repos, la came étant alors en prise avec le levier inférieur et ouvrant la valve en grand.

N° 45_5 Conclusions pour son emploi. — On a vu que le régulateur du *Creusot* n'actionne la valve que lorsque la vitesse atteint les deux limites entre lesquelles elle doit se maintenir, de sorte que la valve est ou complétement fermée ou ouverte en grand, sans que le régulateur puisse la placer dans une position intermédiaire entre ces deux positions extrêmes. Cette valve est d'ailleurs toujours manœuvrée brusquement ; or, c'est là un régime dont une machine ne peut s'accommoder, en raison des chocs dus à l'inertie, qui se produiraient infailliblement à chaque mouvement de la valve. Et lors même que l'instrument serait construit pour fonctionner sous l'influence d'un écart très-faible de la vitesse, le régulateur ne pourrait servir à régler le nombre de tours. Par contre, il est très-propre à limiter la vitesse maxima que la machine ne doit pas dépasser sans danger, car son action est prompte ; cependant la possibilité pour la came de venir butter contre le levier, lorsqu'elle est brusquement entraînée, constitue un grave inconvénient, d'autant plus que les chances de rencontre sont augmentées par la rapidité de l'accélération de mouvement ; si ce fait se présentait avec une hélice émergée ou brisée, la machine ferait encore un tour avec une vitesse prodigieuse ; c'est plus qu'il n'en faut pour briser toutes les pompes et même pour défoncer les cylindres. Cet inconvénient peut être évité en grande partie, il est vrai, si la vitesse angulaire du régulateur est plus grande que celle de la machine et surtout si, comme cela a lieu d'habitude, la valve qui règle le nombre de tours par gros temps, laisse un très-petit passage à la vapeur, la machine fonctionnant à pleine introduction. Dans ce cas, le régulateur du

Creusot peut être un auxiliaire très-utile de la valve indépendante, car s'il fonctionne après celle-ci pour diminuer le passage de la vapeur, il fonctionne également après elle pour l'augmenter, et les chocs résultant de l'arrivée subite de la vapeur dans les cylindres peuvent être évités.

Tel qu'il est construit, ce régulateur paraît donner de très-bons résultats sur les machines motrices des laminoirs; il convient très-bien en effet à ces appareils, car si la vitesse s'accélère dès que le fer s'échappe des cylindres, cette accélération n'est pas suivie d'un ralentissement brusque comme dans les machines marines qui fonctionnent par gros temps. Les variations de vitesse peuvent être considérables et même brusques, mais elles se produisent à longs intervalles.

Nous avons dit que le régulateur du *Creusot* ne saurait régler le nombre de tours, parce qu'il n'est pas isochrone, ni même maintenir ce nombre de tours dans des limites étroites, à cause de son action brusque sur la valve, celle-ci ne pouvant être que complétement fermée ou ouverte en grand. Mais il y a dans ce régulateur un principe qui est de la plus grande importance, *c'est celui de la manœuvre de la valve par la machine elle-même*, ce qui permet d'appliquer ce régulateur sur les machines les plus puissantes. Avec quelques modifications, cet instrument pourrait devenir propre à maintenir le nombre de tours dans des limites très-étroites. En effet, en pratique, la condition d'isochronisme n'a pas besoin d'être mathématiquement réalisée, il est même bon pour éviter les oscillations à longue période, qu'un régulateur ne soit pas tout à fait isochrone. Il est d'ailleurs possible, en plaçant le ressort en dehors de l'instrument de faire varier à volonté son action sur le manchon du régulateur, ce qui permettrait de marcher à diverses allures. D'un autre côté, les deux leviers de manœuvre de la valve peuvent être remplacés par des faces planes obliques, entre lesquelles la came pourrait se mouvoir, le contact ayant lieu à chaque tour du régulateur, les ressorts qui maintiennent la came étant d'ailleurs supprimés. Ces modifications heureusement réalisées feraient de ce régulateur un instrument à la fois très-simple et très-sûr.

CHAP. III, § 3. — Théorie générale de la condensation. Condenseur-éjecteur. Condenseurs a surface. Pompes a air et pompes de circulation. Appareils distilatoires. — Cuisines de bord.

N° 46. — 1. Analyse du phénomène de la condensation en général. — Inconvénients des condenseurs desservant concomitamment plusieurs cylindres. — 2. Travail résistant des condenseurs à mélange. — 3. Du taux de l'injection dans les condenseurs à mélange. Injection intermittente. — 4. Moyens d'accroître l'efficacité des condenseurs à mélange. — 5. Emploi des masques dans les condenseurs à mélange. — 6. Condensation monhydrique par mélange.

N° 46_1 Analyse du phénomène de la condensation en général. — Inconvénients des condenseurs desservant

concomitamment plusieurs cylindres. — Après avoir poussé le piston pendant une course en produisant un certain travail moteur, la vapeur doit disparaître pour permettre au piston de revenir sur ses pas sous l'influence de la poussée qui se produit sur l'autre face de cet organe. L'évacuation a précisément pour but de permettre à la vapeur qui vient d'agir, de s'échapper du cylindre pour se répandre soit dans l'atmosphère, soit dans un condenseur; mais il reste toujours dans le cylindre une certaine pression en rapport avec celle du milieu dans lequel l'évacuation se fait et qui est supérieure à cette dernière (nos 101_4 et 223_7 du *Gd Traité*). La disparition de la vapeur qui évacue le cylindre ne peut pas s'effectuer instantanément; il faut un certain temps pour que le cylindre se vide. Aux premiers instants de l'évacuation, la pression effective qui produit l'écoulement est maximum, mais en raison de la faible ouverture de l'orifice, il n'en est pas de même du poids de vapeur qui sort du cylindre par unité de temps; ce n'est qu'un peu après, lorsque la section démasquée sur l'orifice d'évacuation est suffisamment grande, que ce poids de vapeur évacué par unité de temps devient maximum, malgré la diminution de la vitesse d'écoulement. A partir de cet instant, la quantité de vapeur qui sort du cylindre diminue avec la différence des pressions entre le cylindre et le milieu dans lequel la vapeur pénètre, et devient nulle quand l'équilibre de pression entre ledit milieu et le cylindre est établi. Cet équilibre n'existe rigoureusement qu'au moment où le cylindre ayant fini de se vider par une de ses extrémités, va recommencer à le faire par l'autre. Toutefois, il importe de remarquer que c'est seulement pendant une fraction restreinte de la course du piston que la pression de la vapeur qui évacue le cylindre est sensiblement supérieure à la contre-pression normale; il arrive bientôt, en effet, que le volume laissé libre par la vapeur est immédiatement pris par le piston; à partir de cet instant, la contre-pression ne diminue plus, bien que l'orifice d'évacuation reste encore largement ouvert, et par suite, la différence entre la contre-pression au cylindre et la pression au condenseur reste sensiblement constante jusqu'à la fin de course. Pendant tout le temps que se produit l'évacuation *réelle*, sous l'influence de la différence de pression entre le cylindre et le milieu dans lequel la vapeur pénètre, la contre-pression est supérieure à sa valeur normale, et le travail résistant est augmenté. L'expérience a montré que pour rendre minimum la perte de travail résultant de la

non-instantanéité de l'évacuation, il convient de donner de l'avance à cette évacuation (n° 110$_2$ du *G*[d] *Traité*), et en quantité telle, suivant la pression de la vapeur et le degré de détente, que le temps réel de l'évacuation soit partagé en deux parties égales par le point mort du piston. En d'autres termes, le point mort doit être le milieu de l'arc décrit par la manivelle depuis l'ouverture de l'orifice d'évacuation jusqu'au moment où l'équilibre de pression, entre le cylindre et le milieu dans lequel on évacue, est sensiblement établi.

Dans les machines à vapeur la condensation s'opère de deux manières : dans l'une, la vapeur est mise en contact direct avec l'eau refroidissante qui reste confondue avec le liquide provenant de la condensation ; dans l'autre, l'eau refroidissante agit sur la vapeur par l'intermédiaire d'un métal bon conducteur du calorique, qui a pour objet de maintenir séparés le liquide provenant de la condensation et l'eau condensante. Dans le premier cas, le condenseur est à *injection* ou à *mélange*, dans le second il s'appelle condenseur à *surface*.

Quel que soit le genre de condenseur que l'on emploie, la liquéfaction de la vapeur ne se produit pas instantanément dès qu'elle pénètre dans cet organe ; il faut un certain temps pour que ce phénomène s'accomplisse. Pour un même poids de vapeur, ce temps varie en raison inverse de l'étendue des surfaces condensantes, et pour la même surface, il varie en raison directe du poids de vapeur à condenser. La non-instantanéité de la condensation motive à son tour l'avance à l'évacuation. Malgré cette avance, il arrive toujours un moment où la vapeur est en excès dans le condenseur, et il en résulte une élévation de la pression dans cet organe qui est accusée par les oscillations de l'indicateur du vide. Par compensation, il arrive aussi un moment où c'est l'eau froide qui est en excès, et il en résulte que la température du condenseur devient inférieure à sa valeur moyenne. Toutefois, il importe de remarquer que l'instantanéité de la condensation n'est pas indispensable en pratique. En effet, ce qu'il faut pour obtenir un abaissement rapide de la contre-pression au cylindre, c'est, avant tout, un condenseur d'une grande capacité, et une ouverture large et brusque de l'évacuation. Ces conditions remplies, la vapeur se détend subitement en pénétrant dans le condenseur, et, si l'espace qu'elle y occupe est considérable,

il en résulte instantanément pour cette vapeur un abaissement de tension très-notable, lors même que pendant ce temps il n'y aurait pas du tout de condensation.

Dans les condenseurs à injections, l'eau froide est introduite sous forme de jet plus ou moins divisé, offrant une certaine superficie au contact de la vapeur. Or, l'eau étant peu conductrice du calorique, ce n'est que par le contact direct de la vapeur avec le liquide que l'égalité de température tend à s'établir et que s'opère par suite la condensation. Cette vapeur se condense encore par son contact avec la surface du liquide rassemblé au fond du condenseur, et avec les surfaces internes de la partie vide de cet organe. Si la vapeur qui s'échappe du cylindre arrivait au condenseur continuellement dans la même proportion, relativement à la quantité d'eau injectée, la tension qu'elle y détermine serait invariable, et égale à la pression de saturation correspondante à la température du mélange. Mais il n'en est pas ainsi ; en effet, peu après la mise en communication d'une des extrémités du cylindre avec le condenseur, il y a irruption dans ce dernier d'une grande quantité de vapeur. L'eau refroissante, qui afflue d'une manière uniforme et continue, se trouve donc à ce moment en disproportion avec cette quantité. Il en résulte que la température, et par suite la pression de la vapeur au condenseur, excède, à ce moment, celles dont on vient de parler. Mais l'excès est d'autant moindre que le condenseur est plus vaste ; car, comme nous l'avons dit, la vapeur se détend à son entrée dans ce récipient, et sa pression diminue en raison même de son augmentation de volume, et d'autre part, l'efficacité condensante des parois augmente avec leur étendue. Dans tous les cas, à partir de l'instant que nous venons de considérer, l'affluence de la vapeur au condenseur diminue de plus en plus, tandis que l'eau refroidissante arrive sensiblement en même quantité ; aussi la température, et par suite la pression au condenseur tendent-elles dès lors à se rapprocher de leurs valeurs minima citées plus haut. Mais elles n'atteignent rigoureusement ces valeurs qu'au moment où le rapport du poids total de la vapeur introduite à la quantité d'eau injectée devient égal à celui qui est indiqué par le calcul (n° 97_2 du G^d *Traité*), et où nécessairement les parois du condenseur qui se sont échauffées en aidant à la condensation, ont repris leur température primitive. Comme l'eau d'injection arrive toujours d'une manière régulière, ce moment est évidemment celui où le cylindre ayant fini de se vider

par une de ses extrémités, va recommencer à le faire par l'autre, en donnant lieu aux mêmes fluctuations.

Il ne faut pas perdre de vue que ces fluctuations ne sont jamais considérables, et telles que pourraient le faire supposer la différence de pression entre le cylindre et le condenseur. Elles ne se font d'ailleurs pas sentir dès l'ouverture de l'orifice d'évacuation ; ce n'est qu'un instant après, et environ au moment où le piston passe à son point mort, que l'aiguille de l'indicateur du vide accuse une augmentation de pression au condenseur. C'est en effet à très-peu près à ce moment qu'est maxima la quantité de vapeur évacuée par unité de temps.

Il importe de remarquer qu'en général, le phénomène de la condensation ne se termine que dans la pompe à air, car à l'arrivée de l'eau froide dans le condenseur, l'air qui se dégage de cette eau ajouté à celui qu'amène la vapeur du cylindre, produit une gaîne mauvaise conductrice qui ne permet pas un échange complet de chaleur entre la vapeur à condenser et l'eau d'injection. Ce n'est qu'à la faveur des remous déterminés par le fonctionnemeut de la pompe à air que l'égalité de température entre les deux fluides finit par s'établir, et finalement, l'eau de condensation arrive à la bâche avec une température inférieure à celle du condenseur.

Dans les condenseurs à surface, la liquéfaction de la vapeur qui évacue le cylindre ne peut être obtenue que par son contact avec les parois refroidissantes. Les diverses parties de celle-ci prennent une température moyenne qui varie peu en raison de la grande quantité d'eau qui passe en contact avec la surface opposée à celle qui touche la vapeur ; mais cette température n'est pas la même dans toute l'étendue du condenseur. Quoi qu'il en soit, ici comme dans le condenseur à injection, il existe un retard à la condensation, et il se produit des fluctuations dans la température et la pression du condenseur qui sont surtout sensibles aux environs du point mort. A ce moment, la vapeur qui pénètre dans le condenseur se trouve en excès, et la condensation s'opère à une température et à une pression relativement élevées ; mais à mesure que la quantité de vapeur qui afflue au condenseur diminue, la condensation se fait à des températures et à des pressions de plus en plus basses. La pression maxima que peut atteindre la vapeur dans le condenseur est d'autant moins élevée que la chambre à vapeur de cet organe est plus grande, et que l'étendue de la surface refroidissante mise en con-

tact avec la vapeur dès son entrée dans le condenseur est plus considérable. Dans tous les cas, la présence de l'air qui provient des rentrées aux cylindres, retarde toujours le moment où la vapeur peut être en contact avec le métal des tubes ; d'autre part chaque tube se couvre d'une enveloppe d'eau qui diminue sa conductibilité. D'ailleurs la vapeur, en se refroidissant, passe à l'état vésiculaire, en sorte que la condensation n'est complète qu'après que cette vapeur est successivement venue en contact avec plusieurs tubes. Enfin, l'eau de condensation se refroidit à son tour, et finalement arrive à la bâche avec une température inférieure à celle du condenseur. De son côté la température de l'eau de circulation à sa sortie du condenseur, est toujours inférieure à celle de la bâche à eau douce.

Toutes choses égales d'ailleurs, les condenseurs à surface, doivent contenir une moindre quantité d'air que les condenseurs à injection, et la pression moyenne devrait être moindre dans les premiers condenseurs que dans les seconds. Malheureusement, au bout de quelque temps de marche, les matières employées au graissage des cylindres viennent encrasser les tubes des condenseurs à surface, et par conséquent entraver le refroidissement de la vapeur. La température moyenne de ces condenseurs devient alors plus élevée, et il en est de même de la pression de la vapeur ; par suite, malgré la réduction des rentrées d'air, la pression totale dans les condenseurs à surface ne diffère pas sensiblement de celle des condenseurs à mélange.

Inconvénients des condenseurs desservant concomitamment plusieurs cylindres. — Quel que soit le mode de condensation employé, la pression d'un condenseur qui dessert à la fois plusieurs cylindres est soumise, par tour, à autant de fluctuations qu'il y a de périodes d'évacuation ; et comme dans ce cas on ne donne jamais au condenseur unique un volume égal à la somme des volumes qu'auraient pu avoir les condenseurs particuliers, un pour chaque cylindre, il en résulte que la pression moyenne de ce condenseur unique reste plus élevé. — Cette élévation de la pression moyenne est surtout sensible, si le condenseur unique n'est desservi que par une pompe à air. En effet, l'étendue libre du condenseur subit alors des variations qui font que cet organe fonctionne, à très-peu près, comme s'il s'engorgeait et se dégorgeait alternativement à chaque tour ou chaque demi-tour, suivant que la pompe à air est à simple effet ou à double effet. — D'autre part, au commencement de chaque période d'évacuation d'un cylindre, la pression au condenseur atteint une valeur supérieure à la contre-pression dans l'autre cylindre,

et peut augmenter momentanément cette contre-pression, en retardant l'évacuation de la vapeur qui est encore dans cet autre cylindre.

En pratique, il se présente encore quelques inconvénients : considérons par exemple les deux condenseurs des machines à trois cylindres indépendants (*sect.* 2, *pl.* I). Dans ces machines, les conduits d'évacuation des trois cylindres sont en communication par l'intermédiaire du conduit d'évacuation du cylindre milieu. A chaque variation du vide dans l'un ou l'autre des condenseurs, la vapeur qui évacue les cylindres ne se partage pas également entre ces deux organes; la plus grande partie se rend au condenseur où le vide est meilleur, et y produit un échauffement si l'injection n'est pas réglée en conséquence. Le vide diminue, devient inférieur à celui de l'autre condenseur, et le courant de vapeur s'établit alors vers ce dernier et y établit les mêmes effets. Il résulte de cette circonstance que le vide n'est jamais établi dans les deux condenseurs, et que sa valeur moyenne est inférieure à celle qu'on obtiendrait avec des évacuations séparées. — D'autre part, si pour éviter l'échauffement, on règle convenablement l'injection, le condenseur qui reçoit la plus grande partie de la vapeur des cylindres ne tarde pas à être engorgé, parce que le volume de la pompe à air devient insuffisant. — Le seul remède à cet état de choses consisterait à mettre les deux condenseurs en communication au moyen d'un fort tuyau.

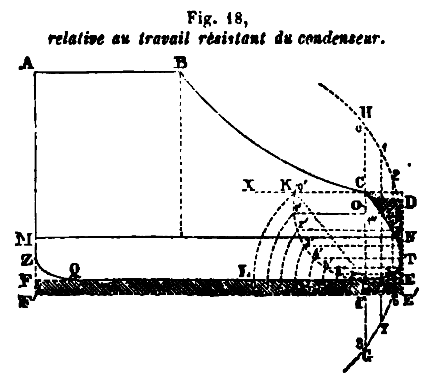
N° 46_2 Travail résistant des condenseurs à mélange. — Quelle que soit la température d'un condenseur, il y a toujours, dans ce récipient, de la vapeur à la pression de saturation qui correspond à cette température, et de l'air provenant en partie de l'eau d'injection, et en plus grande partie des rentrées qui ont lieu, soit par les fissures, ou les joints du condenseur lui-même, soit par les joints des cylindres et les presse-étoupe des tiges de leurs pistons. La pression au condenseur ne peut donc jamais être nulle. D'autre part, la non-instantanéité de la condensation de la vapeur qui évacue le cylindre occasionne, pendant une partie de la durée de cette condensation, une élévation de la pression du condenseur. Enfin, nous avons dit (n° 46_1) que lors même que la condensation pourrait s'effectuer instantanément, il n'en serait pas de même de l'évacuation; il existe donc toujours au cylindre une contre-pression plus grande due à la pression du condenseur (n° 101_4 et 223_7 du *G^d Traité*) qui est augmentée pendant la période réelle d'évacuation, et ajoutons aussi, à la fin de course, pendant la période de compression (n° 110_6 du *G^d Traité*). Il en résulte, par suite, une diminution du travail moteur de la vapeur. Ce travail est encore diminué par l'avance à l'évacuation, parce que la pression de la vapeur

baisse plus rapidement que si la détente se prolongeait jusqu'à la fin de course du piston.

L'étude des variations de la pression de la vapeur qui évacue le cylindre est excessivement complexe, tant à cause des variations de la quantité de vapeur qui reste dans le cylindre aux divers points de la course du piston, que des modifications de volume de cet organe en communication avec le condenseur. On peut admettre, comme suffisamment exact, en pratique, que la loi des variations de pression au cylindre pendant la période d'évacuation réelle, est représentée par un arc de parabole, rapportée sur la course du piston, cette courbe ayant une abscisse totale égale à la différence entre la pression de la vapeur au commencement de l'évacuation et la contre-pression normale au cylindre, et pour ordonnée l'arc décrit par la manivelle pendant la durée de l'évacuation.

Soient, *fig.* 18 :

Fig. 18,
relative au travail résistant du condenseur.



E'F' La ligne du vide parfait.
E'E La valeur de la contre-pression normale au cylindre.
BCD La courbe de détente de la vapeur.
HNG L'arc décrit par la manivelle pendant la durée de l'évacuation, le point mort N étant le milieu de cet arc.

Joignons GH qui est normale à la ligne atmosphérique, et coupe la courbe de détente au point C et la ligne de contre-pression normale au cylindre au point I. La courbe d'évacuation sera limitée par ces deux points et le sommet de la parabole sera en I. — Menons CX parallèle à la ligne atmosphérique; prenons une longueur quelconque IL plus grande que CI, et divisons cette ligne ainsi que l'arc HG en un certain nombre de parties égales, huit, par exemple. — La circonférence qui a pour centre le point I et IL pour rayon, coupe CX au point K; décrivons l'arc de cercle IK qui passe par les points I et K et dont le centre O est sur la ligne CI; puis décrivons du point I, les arc 11', 22',... et par les points 1', 2',... menons des parallèles à la ligne atmosphérique jusqu'à la rencontre des ordonnées correspondantes des points de division de l'arc HG. Nous obtenons ainsi les points nécessaires pour tracer la courbe CTI qui est la parabole en question rapportée sur la course du piston. On voit que cette courbe ne diffère pas sensiblement des courbes d'évacuation relevées à l'indicateur sur les machines bien réglées. Sa construction est basée sur ce théorème que : dans une parabole les carrés des ordon-

nées sont proportionnels aux abscisses correspondantes. Les carrés des cordes telles que IK = IL, I1' = I1, etc., représentent ceux des arcs GH, G1, etc., sont en effet proportionnels aux projections IC, I1'', etc. — La courbe CD étant la continuation de la détente jusqu'à la fin de la course, on voit que l'avance à l'évacuation fait perdre un travail moteur représenté par la surface CTDC, et que la non instantanéité de l'évacuation et de la condensation fait augmenter le travail de la contre-pression d'une quantité représentée par la surface TIET.

A la fin de course du piston, la période de compression augmente encore le travail résistant. La courbe QZ, qui accuse l'élévation de la contre-pression, est une courbe de compression de l'air dont les ordonnées sont augmentées de la pression de la vapeur, pression déterminée par la température dans le cylindre. Comme cette température est plus élevée que celle du condenseur et que d'un autre côté rien n'indique que la proportion de l'air et de la vapeur soit la même dans le cylindre et dans le condenseur, nous adopterons pour courbe de compression la courbe TI, qui termine l'évacuation, ce qui nous permettra d'établir une corrélation entre ces deux phénomènes.

Le travail moteur brut de la vapeur dans le cylindre est représenté par la surface totale ABCDE'F'; pour obtenir le travail effectif, il faut en déduire le travail résistant de la contre-pression normale qui est représenté par le rectangle EE'F'F, et la perte de travail résultant des périodes d'évacuation et de compression et qui est représenté par CDTC + TIET + QFZQ. Les deux derniers termes TIET, QFZQ sont égaux, puisque nous avons pris la courbe de compression QZ égale à la courbe TI. Les trois portions de la perte de travail due à l'évacuation et à la compression, correspondent à des portions égales de la course du piston, dont la valeur est EI, qui correspond à la moitié de l'arc HG décrit pendant l'évacuation. On peut donc remplacer cette somme par le produit du chemin EI par un effort moyen qu'il est possible d'exprimer en fonction de la différence CI qui existe extre la pression de la vapeur au commencement de l'évacuation et la contre-pression normale au cylindre. — La contre-pression normale au cylindre dépend de la pression au condenseur, mais elle est toujours plus grande que cette dernière; il existe entre ces deux pressions un rapport variable d'une machine à l'autre, mais qu'on peut supposer constant pour le même appareil. En faisant la moyenne des résultats inscrits aux *tableaux B* et *C* de l'atlas, on trouve que la contre-pression moyenne au cylindre vaut 1,6 de la pression normale au condenseur, mais cette contre-pression moyenne tient compte de ce que la résistance est plus grande aux deux extrémités de la course, par le fait de l'évacuation et de la compression. En défalquant l'influence des surfaces TIET et QFZQ, d'après notre figure et pour une avance à l'évacuation égale à 0,1 de la course, on peut estimer que la contre-pression normale au cylindre vaut 1,5 de la pression normale au condenseur.

Tout ce qui précède étant bien compris, soient :

S La surface du piston en mètres carrés.

C La course du piston en mètres.
P′ En kilogrammes par centimètre carré, la pression absolue de la vapeur pendant l'introduction.
I La fraction de la course qui exprime le degré d'introduction.
P_1 En kilogrammes par centimètre carré, l'effort moyen absolu de la vapeur pendant toute la course.
P En kilogrammes par centimètre carré, la pression absolue de la vapeur au commencement de l'évacuation.
p En kilogrammes par centimètre carré, la pression normale au condenseur.
f Le rapport de la contre-pression normale au cylindre à la pression normale au condenseur; la contre-pression normale au cylindre vaudra fp.
A Le rapport de l'effort moyen correspondant à la perte de travail due à l'évacuation et à la compression, à la différence $(P - fp)$. Cet effort moyen aura pour valeur $A(P - fp)$.
a Le nombre de degrés de l'avance angulaire à l'évacuation.

Le travail brut de la vapeur dans le cylindre et pour une course du piston a pour valeur :

$$(1) \qquad T^{km} = 10.000\,SCP_1.$$

La valeur de P_1 est donnée par la table V du tome I du *Gd Traité;* on lit dans la deuxième colonne, en regard de l'introduction I, prise dans la première, le nombre par lequel il faut multiplier P′ pour obtenir P_1.

Le travail résistant de la contre-pression normale fp, a pour valeur :

$$(2) \qquad t^{km} = 10.000SC \times fp.$$

L'effort moyen $A(P - fp)$ n'agit que pendant une portion de la course du piston égale à $\frac{C}{2}(1 - \cos a)$, en supposant la bielle infinie; le travail de cet effort moyen est donc :

$$(3) \qquad t'^{km} = \frac{10.000\,SC}{2} \times A(P - fp)(1 - \cos a).$$

La somme des égalités (2) et (3) donne le travail résistant total du condenseur, et on a :

$$(4) \qquad \tau^{km} = \frac{10.000\,SC}{2}[2fp + A(P - fp)(1 - \cos a)].$$

Comme nous l'avons dit, la valeur de f peut être prise égale à 1,5 pour les machines marines; quant au coefficient A, voici sa valeur déterminée par des constructions graphiques faites à grande échelle, et pour diverses valeurs de l'avance à l'évacuation :

VALEUR DE a.	FRACTION correspondante de la course du piston.	VALEUR DE A.
25°	0,05	0,388
30°	0,07	0,355
35°	0,09	0,328
40°	0,12	0,302

L'avance à l'évacuation dépasse rarement 0,12 de la course, et il est peu probable qu'on puisse jamais descendre au-dessous de 0,05. Ce petit tableau suffit par suite, car on peut trouver les valeurs de A qui correspondent aux arcs intermédiaires par les différences proportionnelles. — On voit que A augmente à mesure que l'avance à l'évacuation diminue, et tend par suite à faire augmenter le travail résistant; mais le chemin parcouru qui est représenté par $(1 - \cos a)$, diminue dans un plus grand rapport; de sorte qu'en définitive, le travail résistant de l'évacuation et de la compression diminue avec la durée de l'évacuation.

Prenons un exemple, soient :

$$P' = 4^{kg}, \qquad I = 0,40.$$

L'effort moyen correspondant pour toute la durée de la course du piston est, d'après la table V (1er vol. du Gd *Traité*), $P_1 = 0,767\,P'$; et l'égalité (1) donne :

$$(1') \qquad T^{km} = 10.000\,SC \times 4^{kg} \times 0,767 = 10.000 \times 3,068\,SC.$$

Soient encore :

$p = 0^{kg},15$; $a = 40°$; la valeur de $(1 - \cos a) = 0,24$; et comme la course est double du rayon, l'avance à l'évacution est de 0,12. A ce point de la course du piston, la pression P de la vapeur est :

$$P = \frac{4^{kg} \times 0,4}{1 - 0,12} = 1^{kg},82.$$

En prenant $f = 1,5$ et $A = 0,302$, l'égalité (4) donne :

$$T^{kg} = \frac{10.000\,SC}{2}\,[2 \times 1,5 \times 0,15 + 0,302\,(1,82 - 0,15 \times 1,5)(0,24)];$$

ou :

$$(4') \qquad T^{km} = 10.000\,SC \times 0,283.$$

Le travail effectif est la différence entre les égalités (1') et (4') et on a :

$$(5) \qquad T^{km} - T^{km} = 10.000\,SC\,(3,068 - 0,283) = 10.000\,SC \times 2,785.$$

Supposons maintenant qu'en augmentant suffisamment la section des orifices et l'étendue des surfaces condensantes, la durée de l'évacuation puisse être réduite, et que l'avance soit seulement de 0,05, ce qui donne, pour la valeur de $a = 25°$:

$$A = 0,388 \quad \text{et} \quad (1 - \cos a) = 0,09.$$

L'égalité (4) donnera alors :

$$(4'') \qquad T^{km} = 10.000\,SC \times 0,253.$$

Il en résulte une diminution de travail résistant du condenseur égale à :

$$10.000\,SC\,(0{,}283 - 0{,}253) = 10.000\,SC \times 0{,}030,$$

soit $\frac{0{,}030}{0{,}283} = 0{,}10$ ou 10 p. 100 du travail résistant primitif.

De son côté, le travail effectif aurait pour valeur :

$$(6) \qquad T^{km} - \tau^{km} = 10.000\,SC\,(3{,}068 - 0{,}253) = 10.000\,SC \times 2{,}815.$$

Ce qui, par rapport au résultat (5), constiturait une augmentation de :

$$10.000\,SC\,(2{,}815 - 2{,}785) = 10.000\,SC \times 0{,}030\,;$$

soit une augmentation du travail effectif égale à $\frac{0{,}030}{2{,}785} = 0{,}0104$ de sa valeur primitive, ou 1 p. 100 en nombre rond.

En lui-même, ce bénéfice n'est pas très-élevé; mais il peut être triplé par la diminution du travail de la pompe à air, et surtout par la diminution de la quantité de chaleur à fournir à l'eau d'alimentation pour être vaporisée, si l'eau d'injection pouvait être réduite au strict nécessaire (n° 46_3).

D'un autre côté, il est bien évident que toute diminution de la pression normale au condenseur, et par suite de la contre-pression normale au cylindre, aura pour conséquence une augmentation du travail effectif. La diminution de la pression au condenseur ne saurait être utilement obtenue que par la suppression d'une partie des rentrées d'air dans cet organe (n° 46_4) ; car pour la température moyenne de 40°, qui a été reconnue la plus avantageuse (n° 101_2 du *G^d Traité*), la pression de la vapeur dans le condenseur reste constante.

N° 46_3 Du taux de l'injection dans les condenseurs à mélange. Injection intermittente. — L'eau d'injection qui arrive d'une manière continue dans le condenseur doit être divisée en deux parties : 1° celle qui pénètre dans ces organes pendant la durée de la condensation, et qui est toujours en quantité et dans un état de division insuffisants pour que la condensation s'opère sans qu'il y ait élévation de la température au condenseur; et 2°, celle qui pénètre dans cet organe entre deux périodes d'évacuation, et qui absorbe la quantité de chaleur qui n'a pu être prise par la première. Lorsque le régime de marche est établi, la température du condenseur oscille entre deux valeurs extrêmes : l'une, maximum, supérieure à sa valeur moyenne, et qu'elle possède vers le milieu de la période d'évacuation réelle ; l'autre, minimum, inférieure à cette valeur moyenne, et qu'elle possède au moment où

une nouvelle évacuation va se produire. Ces deux valeurs extrêmes de la température du condenseur ne changent pas, et il en est de même de la température moyenne. L'eau de la bâche prend une température finale qui est la même que celle qu'elle posséderait si la quantité de l'eau d'injection, arrivant par intermittence, pénétrait en entier dans le condenseur pendant la durée de la condensation. Dans les machines marines, cette durée est représentée en moyenne par un arc variant de 74° à 80°, correspondant à une avance à l'évacuation de 0,10 à 0,12 de la course du piston. En admettant le chiffre de 80°, il pénètre dans le condenseur entre deux périodes d'évacuation, alors qu'il n'y a presque pas de vapeur à condenser, 1,25 de fois la quantité d'eau froide qui pénètre dans cet organe pendant la durée de la condensation réelle. La totalité de cette eau n'est pas dépensée inutilement, puisqu'une certaine quantité est employée à abaisser la température du condenseur et à le rendre, par suite, plus apte à condenser la nouvelle vapeur qu'il va recevoir; mais la plus grande partie de cette eau en excès sert au refroidissement de l'eau condensée, refroidissement qui se produit surtout dans la pompe à air, sans aucun bénéfice pour la condensation. — En fin de compte, on dépense une quantité d'eau froide variant entre une fois et demie et deux fois la quantité qui serait strictement nécessaire pour condenser la vapeur à la température moyenne du condenseur. Cette eau en excès et l'air qu'elle contient surchargent les pompes à air, et nécessitent pour leur extraction, la dépense d'un certain travail moteur qu'il y aurait intérêt à économiser en réduisant la durée de l'injection. D'un autre côté, et ce n'est pas le défaut le moins grand d'une injection en excès, l'eau de la bâche est amenée à une température inférieure à celle du condenseur et exige, par suite, une plus grande dépense de chaleur pour être vaporisée. Il y aurait donc aussi, de ce côté, intérêt à réduire le taux de l'injection au strict nécessaire.

M. *du Fay*, ingénieur de la marine, a proposé un système d'injection qui permettrait d'obtenir ce double résultat. Ce système consiste à faire écouler l'eau sous une certaine pression par une série d'ajutages coniques inclinés les uns sur les autres de manière que les filets liquides se rencontrent deux à deux à une petite distance du point d'émission. Du choc des veines fluides résulte une division du liquide d'autant plus ténue que la pression, sous l'influence de laquelle l'eau pénètre au condenseur, est plus considérable. Cette eau peut être ainsi réduite à l'état de nuage et présenter par suite une grande surface au contact de la vapeur. La condensation

doit donc s'effectuer plus rapidement, et si la section des orifices du cylindre le permet, l'avance à l'évacuation peut être réduite. — Nous allons nous rendre compte de l'état de division dans lequel devrait être projetée l'eau d'injection, pour que l'évacuation puisse s'effectuer avec une avance angulaire égale à 25° correspondant à 0,05 de la course, ce qui, d'après l'exemple du n° 46_3, diminuerait le travail résistant du condenseur et augmenterait de 1 p. 100 le travail effectif de la vapeur dans le cylindre.

Soient :

p^{kg} Le poids de vapeur dépensé dans 1^{sec}.
Q^{kg} Le poids de l'eau d'injection par kilogramme de vapeur à condenser.
$b^{m.c}$ La surface que prend chaque kilogramme d'eau injectée dans le condenseur.
K Le coefficient de conductibilité de l'eau, c'est-à-dire la quantité de chaleur qui pénètre dans une seconde à travers un mètre carré de la surface du jet liquide pour une différence de température de 1°.
T° La température de condensation.
t° La température de l'eau d'injection.
L^{cal} La quantité de chaleur que peut céder 1^{kg} de vapeur condensée à zéro degré.
a° L'avance angulaire à l'évacuation.
N Le nombre de tours de la machine par minute.

Le nombre de courses par seconde est $\frac{2N}{60} = \frac{N}{30}$; et la durée de chaque course est $1^{sec} \times \frac{30}{N} = \frac{30}{N}$ secondes.

La condensation s'effectuant pendant que la manivelle décrit un arc double de l'avance angulaire à l'évacuation, la durée de cette condensation sera, pour la vapeur dépensée à chaque course :

$$\frac{30}{N} \times \frac{2a}{180} = \frac{a}{3N} \text{ secondes.}$$

Le poids de vapeur dépensé par course est $p \times \frac{30}{N}$, et nécessite un poids d'eau d'injection égal à :

$$Q \times p \times \frac{30}{N} \text{ kilogrammes,}$$

qui doit avoir une surface réfrigérante de :

$$b \times Q \times p \times \frac{30}{N} \text{ mètres carrés.}$$

La quantité de chaleur qui pénètre cette surface, avec la différence de température $(T - t)$ et dans $\frac{a}{3N}$ secondes, étant égale à la quantité de chaleur $p \times \frac{30}{N}(L - T)$ calories, cédée par la vapeur dans le même temps, on a :

$$b \times Q \times p \times \frac{30}{N} \times K \times \frac{a}{3N}(T - t) = p \times \frac{30}{N}(L - T);$$

d'où l'on tire :

$$b = \frac{3N(L-T)}{aQK(T-t)}.$$

Or la quantité de chaleur cédée par la vapeur étant aussi égale à la quantité de chaleur absorbée par l'eau d'injection, on a :

$$Q(T-t) = (L-T); \text{ d'où : } Q = \frac{L-T}{T-t}.$$

Et en remplaçant dans la valeur ci-dessus de b, il vient :

$$(1) \qquad b = \frac{3N}{aK}.$$

Appliquons à un exemple numérique.

Soient : $N = 60$ tours. $a = 25°$ (ce qui correspond à peu près à une avance à l'évacuation égale à 0,05 de la course), et $K = 3^{cal},2$ (n° 49_2) ; on en déduira :

$$b = \frac{3 \times 60}{25 \times 3,2} = 2^{m.c},25.$$

Pour avoir une idée de l'état de division dans lequel doit être l'eau d'injection, supposons cette eau formée en globules d'un diamètre D et en nombre N, on aura :

$$N\pi D^2 = 2^{m.c},25, \text{ et } N \times \frac{1}{6}\pi D^3 = 0^{m.cub},001.$$

En prenant la valeur de N dans la première égalité pour la porter dans la seconde, et en tirant la valeur de D, on a :

$$D = \frac{0^{m.cub},001 \times 6}{2^{m.c},25} = 0^m,00266;$$

soit $2^{mm},66$. — Cet état de divison n'est pas excessif et la vitesse de 12 à 14 mètres avec laquelle l'eau d'injection pénètre dans les condenseurs des bâtiments, serait probablement suffisante pour le produire. — Une injection intermittente ainsi réglée ferait augmenter le travail effectif, non-seulement par la diminution du travail résistant du condenseur, mais encore par la diminution du travail de la pompe à air, parce que l'eau d'injection pourrait être réduite, ou à peu près, au strict nécessaire. — Il en résulterait encore que, pour la même température de condensation, la température de l'eau de la bâche serait plus élevée, et que par suite la quantité de chaleur à fournir à cette eau pour être vaporisée serait moindre.

Dans l'exemple du n° 46_2, la pression absolue de la vapeur est de 4^{ks} par centimètre carré, ce qui correspond à une température de 143°. Au moment de l'évacuation, cette vapeur a une pression de $1^{ks},82$, et sa température est de 117°. Supposons que la condensation s'effectue à 40° avec de l'eau froide prise à 15°. La quantité de cette eau strictement nécessaire à

la condensation est de :

$$\frac{606,5 + 0,305 \times 117 - 40}{40 - 15} = 24^{kg}$$

par kilogramme de vapeur.

La chaleur nécessaire pour vaporiser à 143° de température, 1^{kg} d'eau prise à 40°, est :

$$606,5 + 0,305 \times 143 - 40 = 610 \text{ calories.}$$

Or, avec l'injection ordinaire, on emploie au moins $24^{kg} \times 1,5 = 36^{kg}$ d'eau d'injection; la température x de la bâche, qui est alors inférieure à celle du condenseur, se déduit de l'égalité :

$$36\,(x - 15) = 606,5 + 0,305 \times 117 - x$$

d'où :

$$x = \frac{606,5 + 0,305 \times 117 + 15 \times 36}{37} = 32° \text{ en nombre rond.}$$

La quantité de chaleur dépensée pour vaporiser à 143° de température, 1^{kg} d'eau prise à 32°, est :

$$606,5 + 0,305 \times 143 - 32 = 618 \text{ calories.}$$

Le bénéfice résultant de la réduction de l'injection au strict nécessaire est donc de :

$$618 \text{ cal.} - 610 \text{ cal.} = 8 \text{ cal., soit } \frac{8}{618} = 0,013 \text{ ou } 1,3 \text{ p. } 100$$

de la dépense ordinaire.

En fin de compte, en ajoutant à ce résultat la diminution de travail de la pompe à air et un bénéfice de 1 p. 100 que procure la diminution de l'avance à l'évacuation, on peut estimer que l'appareil d'injection de M. *du Fay* pourrait produire une économie de 3 p. 100 du travail sur les pistons. — Il est évident que cette économie ne peut être réalisée qu'à la condition que la vitesse naturelle d'introduction de l'eau dans le condenseur soit suffisante pour produire la division de l'eau d'injection. Mais s'il faut employer un appareil spécial pour projeter l'eau dans le condenseur, le fonctionnement de cet appareil pourrait nécessiter un surcroît de travail capable d'absorber le bénéfice résultant d'une injection intermittente et réduite. — L'expérience seule peut en décider. Ce mode d'injection pourrait être avantageux dans les machines fixes, lorsque l'eau est rare ou qu'il faut la prendre à de grandes profondeurs, parce qu'il résulterait de son emploi une diminution considérable du travail de la pompe à eau froide. Il est d'ailleurs facile d'imaginer un dispositif au moyen duquel la tige du piston moteur ouvrirait et fermerait elle-même le robinet régulateur de l'injection pour que cette dernière soit intermittente.

En marine, la question se complique de la nécessité de pouvoir proportionner l'eau d'injection à la quantité de vapeur à condenser, quantité qui est variable avec l'allure de la machine. Ce résultat a été obtenu jusqu'à présent par une simple modification de l'ouverture du régulateur d'injection, et ce dernier est généralement disposé de telle sorte que la pression sur l'orifice d'entrée de l'eau au condenseur ne changeant pas, cette eau se trouve naturellement d'autant mieux divisée que la section de son passage est moindre. Il en résulte que pour les marches moyennes, qui sont les plus habituelles, et *a fortiori* pour les allures réduites, la condensation s'effectue plus rapidement que lors de la marche à toute puissance, et finalement l'excès de l'eau d'injection est moindre. — Le contraire pourrait avoir lieu avec l'appareil *du Fay*, car la réduction de la section du conduit principal d'arrivée de l'eau froide produirait une diminution de charge sur les ajutages coniques et, par suite, une moins grande division de l'eau. — Toutefois, d'après l'égalité (1) l'avance à l'évacuation ne changera pas, et la surface du jet liquide doit être sensiblement proportionnelle au nombre de tours; il en résulte que cette surface peut être encore suffisante, même avec une diminution de la pression sous l'influence de laquelle l'eau d'injection pénètre au condenseur. Mais, nous le répétons, l'expérience peut seule décider de la valeur pratique de cet appareil, et il n'en a pas été fait, que nous sachions, d'application sérieuse en marine.

N° 46_4 Moyens d'accroître l'efficacité des condenseurs à mélange. — D'après ce qui a été dit aux nos $46_{2\text{ et }3}$, l'efficacité d'un condenseur à mélange peut être augmentée :

1° Par une meilleure division du jet liquide augmentant l'étendue de la surface en contact avec la vapeur. Cette augmentation permettra de réduire le taux de l'injection tout en maintenant une température moins élevée au condenseur; il en résultera une diminution des deux termes dont se compose la pression normale dans cet organe, puisque, d'une part, la pression de la vapeur diminue avec la température, et que, d'autre part, la quantité d'air introduite par l'eau d'injection sera moindre. D'un autre côté, l'efficacité de la pompe à air sera augmentée, car cette pompe maintiendra un meilleur vide, ou bien on pourra réduire son volume et par conséquent diminuer le travail moteur nécessaire à son fonctionnement.

L'augmentation de la surface condensante de l'eau permettra de réduire dans une certaine mesure, l'avance à l'évacuation et, par suite, la perte de travail résultant de la non-instantanéité de l'évacuation et de la condensation. Toutefois, cette réduction dépend plutôt de la section et du mode d'ouverture des orifices d'évacuation que de la rapidité de la condensation, de sorte qu'il y a peu de chose à gagner de ce côté. — Enfin, pour la même température moyenne

au condenseur, la température de l'eau de la bâche sera plus élevée, et la chaleur dépensée pour vaporiser cette eau sera moindre. Ce résultat pourrait être obtenu avec l'appareil de M. *du Fay* (n° 46_2). La vitesse de 12 à 14 mètres dont on dispose naturellement sur les bâtiments, serait probablement suffisante pour donner à l'eau froide une grande surface; mais il faudrait installer des appareils doubles et même triples, pour qu'on pût régler à volonté le taux d'injection sur la quantité de vapeur dépensée, sans diminuer sensiblement la vitesse d'entrée de cette eau dans le condenseur.

2° Par une augmentation du volume libre du condenseur, ce qui a pour effet de faire diminuer plus rapidement la pression de la vapeur dès qu'elle pénètre dans cet organe, et de compenser ainsi, dans une certaine mesure, le défaut provenant d'une étendue insuffisante de la surface condensante de l'eau d'injection; c'est-à-dire que l'élévation de pression due au retard de la condensation est d'autant moindre que le condenseur est plus volumineux. On comprend en effet, que si le volume du condenseur est très-grand, la vapeur qui évacue le cylindre se détend considérablement avant même de se condenser; il y a, par suite, peu ou point d'élévation de pression au condenseur pendant l'évacuation réelle, et le cylindre se vide beaucoup plus rapidement, ce qui a pour effet de faire baisser plus brusquement la pression de la vapeur qui évacue cet organe. La durée de la condensation est à peu près indépendante du volume même du condenseur, et la quantité de chaleur à absorber par l'eau d'injection reste la même, car dans la détente de la vapeur qui passe du cylindre au condenseur, il n'y a pas de production de travail dynamométrique extérieur, mais seulement changement de disposition intérieure des molécules. — La chaleur dépensée de ce chef doit se retrouver à la condensation, car la vapeur revient toujours au même état liquide et à la même température. Par lui-même, le volume du condenseur n'a donc aucune influence sur la durée de la condensation. Mais il n'en est pas de même de l'étendue de ses parois qui ont une action refroidissante très-sensible, et comme ces parois ont d'autant plus d'étendue que le condenseur est plus volumineux; il en résulte qu'en réalité, la durée de la condensation est diminuée par l'augmentation du volume du condenseur.

Il importe de remarquer que, pour une température donnée, le volume du condenseur n'a aucune influence sur la pression normale dans cet organe. Pour chaque température, cette pression ne

peut varier, en effet, qu'avec la quantité d'air que contient le condenseur, car la pression de la vapeur reste constante tant que la température ne change pas ; or cette quantité d'air dépend non pas du volume du condenseur, mais du volume de la pompe à air. Soient :

v litres Le volume de l'air à la pression de 76c·m de mercure.
V litres Le volume de cet air dans le condenseur à la pression xc·m.
V' litres Le volume laissé libre par l'eau dans la pompe à air.

On a, abstraction faite de la variation de température :

$$x = \frac{76v}{V}.$$

Si le volume libre de la pompe à air était toujours égal au volume libre du condenseur, la pression x diminuerait en même temps que V augmenterait, parce que la pompe à air enlèverait à chaque coup de piston l'air introduit au condenseur. Mais le volume V' de la pompe à air est toujours plus faible que V; cette pompe laisse donc dans le condenseur à chaque coup de piston (V' — V) litres d'air; comme il en rentre toujours sensiblement la même quantité, la pression augmente peu à peu jusqu'à ce que la pompe puisse enlever sous son volume V', la totalité de l'air qui entre pendant la durée d'un coup de piston; mais alors la pression de cet air n'est plus $\frac{76v}{V}$, mais bien $\frac{76v}{V'}$. C'est-à-dire que c'est le volume de la pompe à air et non le volume du condenseur qui limite la pression de l'air dans ce dernier organe.

Dans les grands appareils de navigation, le rapport du volume du condenseur au volume du cylindre varie entre 1,3 à 1,4. C'est grâce à la valeur considérable de ce rapport que la période d'évacuation s'effectue dans de bonnes conditions, malgré l'insuffisance de l'étendue de la surface du jet d'eau d'injection.

3° Par une augmentation de section des orifices d'évacuation et surtout par l'emploi de distributeurs permettant d'ouvrir ces orifices en grand dès que l'évacuation commence. Il en résultera en effet une évacuation plus rapide. Cette augmentation de la section des orifices coïncidant avec une augmentation de la surface du jet d'eau froide, l'avance à l'évacuation pourrait être réduite ; or, nous avons vu au n° 46, que si cette avance pouvait être diminuée jusqu'à 0,05 de la course, il en résulterait une augmentation du travail effectif de 1 p. 100.

4° Par une meilleure installation des joints, soit du condenseur, soit du cylindre, afin de diminuer la quantité d'air qui entre au

condenseur, et par suite la pression dans cet organe, et finalement la contre-pression normale au cylindre. Toute diminution dans ce sens produira une augmentation notable du travail effectif, parce que cette contre-pression se fait sentir pendant toute la durée de la course du piston. De ce côté il reste beaucoup à faire; en effet, si l'on consulte le tableau B, on voit que la pression au condenseur ne descend pas au-dessous de 10^{cm} de mercure. Et dans beaucoup de machines il atteint un chiffre plus élevé et va même jusqu'à 15^{cm}. Or, à 40° degrés de température la pression de la vapeur ne vaut que 5^{cm}; l'air fournit donc à lui seul la moitié au moins, et très-souvent les deux tiers de la pression au condenseur. Mais l'eau d'injection n'amène guère que un cinquième de cet air; les autres quatre cinquièmes proviennent de rentrées qui s'effectuent par les divers joints ou garnitures du condenseur et des cylindres.

Les moyens à employer pour diminuer ces rentrées d'air consistent à faire tous les joints du condenseur et du cylindre avec le plus grand soin, en employant au besoin des toiles métalliques qui retiennent le minimum dans leurs mailles; à munir de soupapes les robinets de purge, et de clapets en caoutchouc les soupapes de sûreté des cylindres et les reniflards; enfin à mettre dans les presse-étoupe des tiges de piston, des boîtes de graissage en communication avec les chemises des cylindres, de façon que s'il se produit des fuites, ce soit de la vapeur qui entre, et non de l'air.

5° Par une augmentation de la durée d'un coup de piston; en d'autres termes, par la diminution de la vitesse de rotation, ce qui aurait pour effet de diminuer le nombre de degrés de l'avance à l'évacuation nécessaire, et par suite le travail résistant du condenseur. On tire en effet de l'égalité (1) du n° 46_3 :

$$a = \frac{3N}{bK}.$$

Or, pour une vitesse déterminée d'introduction de l'eau d'injection dans le condenseur, la surface b que prend chaque kilogramme d'eau d'injection conserve la même valeur; par suite a varie en raison directe du nombre de tours N, c'est-à-dire que l'avance angulaire à l'évacuation peut être diminuée en même temps que ce nombre de tours. D'un autre côté, la vitesse du piston étant réduite, la contre-pression normale au cylindre peut atteindre, pour la même pression au condenseur, une valeur plus faible; en effet, quand

l'équilibre de pression est établi entre les deux organes, le volume engendré par le piston dans un temps donné est égal au volume de vapeur qui évacue le cylindre; or, si le piston va moins vite, la vapeur qui reste dans le cylindre se détend, et la contre-pression devient moindre. Mais il se présente ici des inconvénients; la température du cylindre diminue en même temps que la pression de la vapeur qui évacue parce que celle-ci s'échauffe à son détriment, et le cylindre condense, pendant la période d'introduction suivante, une quantité de vapeur d'autant plus grande que sa température finale a été plus basse. D'un autre côté, il ne faut pas perdre de vue que la réduction de l'avance nécessite des sections d'orifices considérables, et enfin, que les appareils à rotation lente et par suite à transmission pour le cas où le propulseur est à hélice, sont beaucoup plus lourds et beaucoup plus encombrants. Tous ces inconvénients peuvent compenser le bénéfice qu'on peut obtenir par la réduction de l'avance et de la diminution de la contre-pression; aussi la question d'économie qui nous occupe est-elle primée en marine par la question de poids et d'encombrement, et surtout par la question de vitesse du propulseur.

N° 46_7 Emploi des masques dans les condenseurs à mélange. — Dans quelques appareils, tels que ceux de *Mazeline* et des *Forges et chantiers de l'Océan*, le condenseur est élevé: l'eau d'injection peut être projetée dans le tuyau d'évacuation, et de là arriver aux cylindres. Pour obvier à cet inconvénient, on a été obligé d'installer les masques qu'on voit représentés dans la *fig.* 2, *sect.* 2, *pl.* VIII du *Gd Traité*, et dans la *fig.* 5, *sect.* 2, *pl.* I. — Dans le premier appareil, qui appartient à l'ancien type de *Mazeline*, le masque en question est venu de fonte avec le condenseur et forme la continuation du conduit d'évacuation. Ce tuyau n'a pas d'autre communication avec le condenseur que son débouché dans cet organe, de sorte que l'eau, provenant de la petite quantité de vapeur qui se condense dans ce tuyau, doit être expulsée par la vapeur elle-même. — Dans le deuxième appareil, ce masque est aussi venu de fonte avec le condenseur, mais il est muni à sa partie inférieure, d'un clapet *u* qui s'ouvre sous la pression de l'eau provenant de la condensation dans le tuyau d'évacuation, et cette eau tombe dans le condenseur par son propre poids.

Dans l'un comme dans l'autre cas, les masques sont indispensables pour empêcher l'eau d'injection d'arriver dans le cylindre; mais ils ont l'inconvénient d'obliger la vapeur à faire un coude brusque pour pénétrer dans le condenseur, et gênent ainsi son expansion au moment où elle doit venir en contact avec l'eau condensante.

N° 46_8 Condensation monhydrique par mélange. —

L'obstacle à la condensation par injection dans les machines marines, lorsqu'elles marchent à une pression élevée, ne tient pas à la condensation elle-même, mais bien à l'alimentation des générateurs. L'eau d'alimentation se dépouille des sels calcaires par le seul fait de l'élévation de température jusqu'à un certain degré, sans qu'il soit besoin d'aucune concentration. Les sels ainsi abandonnés se retrouvent dans les chaudières, en partie à l'état de dépôt, sur les surfaces de chauffe, et le reste en suspension dans la masse liquide. La transmission de calorique est diminuée, et l'eau est dans un état savonneux qui favorise les ébullitions et les projections.

Quand la pression ne dépasse pas $2^{at},75$, on a la ressource des extractions, qui n'empêchent pas les dépôts d'une manière absolue, mais qui les restreignent considérablement. — Cette ressource manque dès que la pression est plus élevée, parce qu'alors l'eau se dépouille complétement de son sulfate de chaux dès son entrée dans le générateur (n^{os} $170_{3\ et\ 4}$ du G^d *Traité*). — Il faut donc se servir pour l'alimentation d'une eau dépourvue de sels calcaires, et c'est dans ce but qu'on a imaginé le condenseur à surface, dont nous étudierons le mode de fonctionnement aux n°s 48 et 49.

Le rôle du condenseur consiste à transporter à l'eau froide le calorique de la vapeur, et, par cela même, condenser celle-ci; puis, à expulser du moteur ce calorique, sauf la portion qui y retourne avec l'eau d'alimentation. Le condenseur proprement dit remplit la première fonction, dans les condenseurs par mélange, la pompe à air remplit la seconde et cette fonction est remplie par la pompe de circulation dans les condenseurs à surface. Au point de vue de la marche de la machine, il n'y a que la première fonction qu'il soit essentiel d'accomplir dans le laps de temps compris entre deux coups de pistons successifs; la seconde fonction peut être effectuée subséquemment, à loisir, et même en dehors de l'appareil. C'est en se basant sur ces considérations que M. *Cousté* a proposé, pour réunir les avantages des deux modes de condensation, rapidité de la liquéfaction de la vapeur et alimentation à l'eau douce, d'injecter dans le condenseur de l'eau qui restera toujours la même, qui n'incrustera point si on l'a dépouillée de ses sels calcaires, mais qu'il faudra refroidir, sans mélange avec l'eau refroidissante, chaque fois qu'elle aura passé au condenseur. — *C'est la condensation monhydrique par mélange.* — L'injection doit être intermittente et la durée réduite à la période d'évacuation réelle.

Ce principe n'est pas nouveau, et a déjà été appliqué dans les machines à épuisement des mines où les eaux étaient acides et corrosives. On opérait la réfrigération de l'eau condensante en la faisant circuler à ciel ouvert, dans des rigoles d'un grand développement. — Mais en marine, il faudrait employer un réfrigérateur tubulaire; le moyen le plus simple consisterait probablement à prendre un condenseur à surface ordinaire dans lequel on supprimerait un tiers des tubes, l'espace vide ainsi formé servant de condenseur à injection, les tubes restant en place servant de réfrigérateur

pour l'eau de condensation. Mais il est douteux que dans ces conditions, l'eau d'injection séjourne assez longtemps en contact avec les tubes pour perdre toute la chaleur que la vapeur lui a cédée, et il faudrait probablement une installation particulière beaucoup plus volumineuse, et nécessitant d'ailleurs un certain approvisionnement d'eau d'injection. — Dans tous les cas, comme il s'agit ici d'amener l'eau d'injection à la plus basse température possible, il faut que les courants d'eau chaude et d'eau froide marchent en sens contraire l'un de l'autre, comme dans les condensateurs (n° 52). — Il va de soi que les tubes du réfrigérateur devraient être nettoyés de temps à autre pour les débarrasser des matières grasses que l'eau d'injection déposerait sur leurs parois.

L'injection étant intermittente et l'eau étant projetée au moyen d'un appareil tel que celui de M. *du Fay*, qui permettrait de réduire le taux d'injection au strict nécessaire, on pourrait bénéficier de l'économie de 3 p. 100, signalée au n° 46_2, à la condition que la section des orifices du cylindre soit suffisamment grande pour que l'avance à l'évacuation puisse être réduite à 0,05 de la course. Mais cet avantage ne peut être obtenu qu'au prix de l'augmentation du poids et de l'encombrement de l'appareil moteur. En effet, il faut toujours prendre à la vapeur la même quantité de chaleur, que cette chaleur soit cédée directement à l'eau de circulation, comme dans les condenseurs à surface, ou bien qu'elle soit cédée par l'intermédiaire de l'eau d'injection. De plus, dans le réfrigérateur, la différence des températures sous l'influence de laquelle la chaleur traverse les tubes, est évidemment plus faible que dans un condenseur à surface (n° 49_3); par suite, le réfrigérateur devra être beaucoup plus volumineux que ce dernier. — Toutefois, les tubes du réfrigérateur s'encrasseraient bien moins que ceux d'un condenseur à surface ordinaire, du côté de l'eau de circulation parce que leur température serait moins élevée, et du côté de l'eau d'injection parce que les graisses ne seraient pas projetées sur les tubes, comme dans le condenseur à surface. Quant au condenseur à mélange, son volume ne devrait pas être moindre que s'il devait fonctionner seul. — Finalement on peut estimer que le mode de condensation en question conduirait à admettre dans la machine deux condenseurs, l'un à mélange, l'autre à surface, aussi volumineux l'un et l'autre que s'ils devaient fonctionner isolément. — D'un autre côté, avec de l'eau de mer prise en moyenne à 15°, il n'est guère possible d'amener l'eau d'injection à une température inférieure à 20°, à moins de la laisser séjourner longtemps dans le réfrigérateur, et d'en avoir par suite un approvisionnement considérable, ce qui augmenterait notablement le poids de l'appareil moteur. Si, pour diminuer cet approvisionnement d'eau, on augmente la puissance du réfrigérateur, l'inconvénient est le même. — Dans tous les cas, les difficultés pour maintenir le vide au condenseur augmenteraient rapidement dès que la température de l'eau de mer s'élèverait seulement à 18° ou 20°; car l'eau d'injection ne pourrait plus être refroidie que jusqu'à 23° ou 25°; il en faudrait employer une plus grande quantité, ce qui augmenterait le travail de circulation de cette eau; d'autre part, comme la puissance des réfri-

gérateurs serait diminuée, il en résulterait évidemment une élévation considérable de la température et par suite de la pression au condenseur. — Toutefois, cet inconvénient, qui se présente d'ailleurs dans les condenseurs à surface, peut être évité, au moins en grande partie, en augmentant le poids d'eau refroidissante, ce qui exige que la pompe de circulation ait un moteur spécial et qu'elle ne soit pas obligée de produire son maximum d'effet lorsque la température de l'eau de la mer est à sa valeur moyenne de 15°.

En résumé, la condensation monhydrique par mélange ne paraît pas offrir pour les machines marines, des avantages sérieux en compensation de l'énorme augmentation de poids et de l'encombrement qu'elle nécessite, et ce n'est que dans des cas exceptionnels qu'elle pourrait être appliquée sur les machines fixes, car elle ne procure aucune économie d'eau.

N° 47. — 1. Description du condenseur-éjecteur Morton. — 2. Principe du système. — 3. Résultats des expériences faites sur le condenseur-éjecteur Morton. — 4. Comparaison de ce condenseur avec le condenseur ordinaire.

N° 47₁ Description du condenseur-éjecteur Morton. — Ce condenseur, destiné par son auteur à remplacer en même temps le condenseur et la pompe à air des condenseurs à mélange, est représenté par la *fig.* 25, *pl.* V. — L'appareil peut être divisé en trois parties bien distinctes : le *giffard*, qui détermine la circulation de l'eau d'injection; le *condenseur*, dans lequel le vide est produit par la circulation de l'eau d'injection, et enfin l'*appareil de décharge*, pour rejeter les produits de la condensation.

Fig. 25, Pl. V.

Le *giffard* se compose des pièces A, B, C, D, du cône *d* et de l'appareil régulateur O dont nous parlerons plus tard. — La pièce A, qui sert de régulateur d'injection, est un cylindre creux sur presque toute sa longueur, et que termine une partie conique *a* formée par le raccordement de deux arcs de parabole. La manœuvre du régulateur d'injection s'effectue, suivant son axe, au moyen du levier A', actionné par une vis et un volant.

— La pièce B, dans laquelle est logé le régulateur d'injection, présente extérieurement la forme d'un cylindre de pompe à piston plongeur; mais elle est prolongée intérieurement par une partie conique *b*, dont l'extrémité devient cylindrique, d'un diamètre égal au diamètre extérieur du régulateur A de l'injection. La partie extérieure et cylindrique de la pièce B est creusée intérieurement sur une partie de sa longueur, et forme autour du régulateur d'injection, la chambre annulaire 9 dans laquelle la vapeur de la chaudière pénètre par le conduit 8, après avoir franchi l'appareil régulateur O. Quatre fenêtres rectangulaires pratiquées sur le pourtour du cylindre A, permettent à cette vapeur de passer dans la partie intérieure de ce cylindre, pour s'échapper ensuite par l'orifice conique *a* et déterminer l'entraînement de l'eau d'injection.

— Les rondelles C et D et le cône *d* complètent le giffard. Le cône *d* est fixé par sa base au moyen d'une pince rabattue entre les rondelles C et D; son extrémité est terminée comme celle *a* du cylindre A, par une partie formée par le raccordement de deux arcs de parabole.

— L'eau d'injection arrive par le conduit *c*, entoure complétement le cône *b*, et remplit la capacité 1; puis cette eau vient former enveloppe sur la veine de vapeur qui s'échappe par l'orifice *a* et qui l'entraîne dans son mouvement. Grâce à l'intervalle qui existe entre le cône *b* et le régulateur A, la vapeur n'est pas condensée avant d'avoir produit son effet, comme cela aurait lieu si l'eau d'injection était en contact avec le cylindre *a* dans l'intérieur duquel se trouve la vapeur.

Le *condenseur* est formé par les pièces en fonte E, F et par les cônes *e*, *f*, terminés comme le cône *d*, par une partie formée par le raccordement de deux arcs de parabole. La veine liquide, projetée par le giffard et sortant par l'extrémité du cône *e*, traverse la capacité 2 pour atteindre le cône *f* et produit ici, sur les gaz contenus dans cette capacité 2, le même effet que la vapeur a produit sur l'eau d'injection, à l'extrémité *a* du tube régulateur de cette eau. Il en résulte un entraînement des gaz que contient la capacité 2, et, par suite, la formation d'un certain vide dans cette capacité; ce vide est d'autant meilleur que le courant d'eau est plus rapide.

Les cylindres évacuent au condenseur par la tubulure E, sur laquelle se joignent leurs conduits d'évacuation e_1, e'_1. La vapeur est entraînée par le courant d'eau d'injection et se condense à son contact. Cette vapeur sort du cylindre avec une certaine vitesse et possède par suite une certaine force vive qui augmente celle que possède l'eau d'injection. L'intervalle qui existe entre les cônes *d*, *e*, et qui forme la chambre 4, empêche la vapeur qui évacue les cylindres d'être en contact avec le cône *d*, constamment refroidi par l'eau d'injection, et par suite de se condenser avant d'avoir atteint la veine liquide qui traverse le condenseur.

Le cône *f* isole du condenseur une partie 3 de la capacité intérieure de la pièce F. Cette capacité est destinée à faciliter le retour dans le courant de la circulation, de l'eau qui pourrait se séparer de la veine liquide au moment de son entrée dans le tuyau de décharge. A cet effet, la capacité 3 est mise en communication par un tuyau N muni d'un robinet *n*, avec la capacité 4 dans laquelle la veine liquide produit une aspiration, comme dans le condenseur.

Il importe de noter que dans la première disposition adoptée par M. *Morton*, les cylindres évacuaient dans des compartiments séparés; la capacité 2 formait l'un de ces compartiments; la capacité 3 qui formait l'autre, était prolongée par une partie conique de même forme que celle qui termine le tube *f*. Dans la nouvelle disposition adoptée, les deux cylindres évacuent dans le même compartiment si ces cylindres sont de faible puissance, et les deux tuyaux d'évacuation e_1, e'_1 sont disposés comme l'indique la figure; ou bien, chaque cylindre est muni de son condenseur-éjecteur, et, dans ce cas, les tuyaux e_1, e'_1 représentent les conduits d'évacuation des deux extrémités du même cylindre.

L'*appareil de décharge* est composé de trois parties principales : G, K, M. La partie G forme intérieurement un cône divergent de réception des produits de la condensation, en tout semblable à celui d'un giffard d'alimentation. La partie K porte une soupape de retenue *k* pour empêcher l'eau de revenir dans le condenseur, et par suite dans le cylindre, lorsque l'injecteur cesse de fonctionner. Sur le tuyau de décharge M se trouve un réservoir d'air *m* destiné à régulariser l'écoulement.

Le *régulateur* O du condenseur-éjecteur, comprend un cylindre vissé par une tubulure sur la pièce B, et dans lequel se meuvent d'une manière étanche, les deux pistons *p* et *v*, montés sur la même tige *t*. Le piston *v* fait l'office de vanne sur un orifice annulaire, creusé sur la paroi intérieure du cylindre, et qui communique avec le conduit *o*. Un tuyau venant, soit directement de la chaudière, soit du tuyau de vapeur des cylindres, soit des chemises de vapeur de ces organes, se raccorde en 6, et amène la vapeur dans l'intérieur du régulateur, entre les deux pistons *p* et *v*, lorsque ce dernier démasque son orifice. La pression que cette vapeur exerce sur ces deux pistons ne produit aucun effet pour leur déplacement. — L'extrémité du cylindre, sur lequel se trouve le piston *p*, est mise en communication avec le condenseur par le tuyau *u*, et le vide s'établit derrière le piston *p* comme dans le condenseur. Le couvercle de l'autre extrémité du cylindre, vers le piston-vanne *v*, n'est pas étanche, de sorte que cette partie du cylindre est en communication avec l'atmosphère. Il résulte de cette disposition que les pistons *v* et *p* sont poussés, comme s'ils ne formaient qu'un seul bloc, par la différence qui existe entre la pression atmosphérique et la pression du condenseur Un ressort à hélice *r*, logé dans le cylindre, derrière le piston *p*, et que ce piston comprime, a sa tension calculée pour qu'il soit capable de repousser les deux pistons *p* et *v*, lorsque la différence de pression en question descend à une valeur minima fixée d'avance.

La tige *t* traverse le couvercle du cylindre, qui lui sert seulement de guide, et porte un croisillon 7 fixé par un écrou et un contre-écrou, et dont la position est déterminée en vue de limiter la course du piston-vanne *v*, pour que dans les mouvements brusques qui peuvent se produire, la vapeur ne pénètre jamais derrière le piston, ce qui aurait pour effet

de paralyser le fonctionnement du régulateur. — Le croisillon 7 permet d'ailleurs d'agir à la main sur le régulateur, pour augmenter momentanément la quantité de vapeur introduite dans le giffard.

Nous allons étudier maintenant le fonctionnement de ce nouveau condenseur.

N° 47_2 Principe du système. — Ainsi qu'on vient de le voir par la description qui précède, le condenseur-éjecteur *Morton* ressemble à un giffard; son fonctionnement est basé, comme celui de ce dernier, sur l'entraînement qu'une veine fluide, animée d'une certaine vitesse, produit sur tout fluide qu'elle rencontre sur sa route. Dans la position du repos, toutes les parties du régulateur O occupent la position indiquée sur la *fig.* 25, *pl.* V, et un robinet obturateur, placé sur le tuyau qui se raccorde en *o*, empêche seul la vapeur de la chaudière de pénétrer dans l'instrument. — Supposons d'abord que la machine soit au repos, ses orifices d'évacuation fermés : admettons que le réservoir qui contient l'eau d'injection soit juste à la hauteur de l'éjecteur et que le tuyau de décharge débouche à l'air libre à cette même hauteur. Il en résultera que l'eau d'injection n'aura par elle-même aucune tendance à pénétrer dans l'appareil, mais que la détermination de son mouvement n'exigera aucun effort d'aspiration. D'autre part, il n'y aura aucun travail, soit positif, soit négatif, produit par la pesanteur pendant que l'eau passera de son réservoir à l'extrémité du tuyau de décharge. Si l'on ouvre le robinet qui permet à la vapeur de pénétrer dans l'appareil régulateur O, ce fluide passe par le canal 8, la chambre 9, et s'introduit par les fenêtres du tube A dans l'intérieur *a* du tube régulateur. Il se produit alors, par l'extrémité de tube, un courant qui fait le vide dans la capacité 1 et appelle l'eau d'injection.

L'instrument s'amorce absolument comme un giffard, et l'arrivée de l'eau froide est réglée par la position du tube A convenablement manœuvré; la veine fluide, mélange d'eau d'injection et de vapeur que cette eau condense, traverse les extrémités des cônes *d*, *e*, *f*, et se projette dans la chambre 5 pour arriver au tuyau de décharge. Cette veine fluide produit une aspiration dans les chambres 2, 3 et 4, et y détermine un certain vide. Le vide produit dans la chambre 3 se fait sentir sur la face droite du piston *p* par l'intermédiaire du tuyau *u* qui met le bout correspondant du cylindre O en communication avec ladite chambre. Dès que ce vide est suffisant, le piston *p* se met en marche, comprime le ressort *r*, et entraîne le piston-vanne *v*, qui intercepte plus ou moins l'arrivée de vapeur par l'orifice. Lors même que l'obturation serait complète, auquel cas le vide ne tarderait pas à s'établir dans la capacité de la boîte O comprise entre les deux pistons *p* et *v*, il n'en résulterait aucun mouvement des deux pistons, parce que leurs surfaces sont égales et poussées dans des directions contraires par la pression, quelle qu'elle soit, qui existe dans l'appareil O.

Supposons que l'obturation soit complète et que le giffard cesse de fonctionner. L'eau d'injection lancée dans l'appareil possède une certaine force vive en vertu de laquelle l'écoulement tend à se continuer; mais cette force vive sera bientôt dépensée, soit par les frottements, soit par l'entraînement

d'une certaine quantité d'eau prise au réservoir d'injection. Il arrivera donc bientôt un moment où le jet liquide n'aura plus la force nécessaire pour atteindre la capacité 5 qui l'amène au tuyau de décharge. Ce jet liquide se brisera et remplira les capacités 2, 3 et 4 de l'appareil. Le vide tombera dans ces capacités, et le ressort *r* n'étant plus suffisamment comprimé, le piston *p* sera repoussé sur la gauche, entraînant avec lui le piston-vanne *v*, qui démasquera son orifice et permettra ainsi à la vapeur de s'introduire dans l'appareil pour l'amorcer de nouveau.

Il importe de remarquer que lorsque l'instrument vient d'être amorcé et que la veine liquide atteint le cône divergent 5, le vide, quelle que soit sa valeur, qui existe dans les capacités 2, 3 et 4, n'a aucune influence pour maintenir l'écoulement. En effet, la veine liquide qui traverse ces capacités se comporte à ce point de vue comme si elle était renfermée dans un tube qui l'isolerait complétement. Bien plus, les diverses molécules de cette veine sont soumises par la contraction, à une certaine pression, qui, n'étant pas équilibrée par celle qui existe dans les capacité 2, 3 et 4, a pour effet de dilater cette veine, et par suite d'occasionner plus tôt sa rupture aux divers passages du cône. Cette dilatation se fait d'abord à l'extrémité du cône *f*, puis à celle du cône *e*, et finalement à celle du cône *d*. Il est vrai qu'au moment où la veine liquide se brise et cesse d'atteindre le cône divergent 5, l'action du vide se fait sentir, et il en résulte qu'une nouvelle force vive est imprimée momentanément à l'eau; mais il en résulte aussi la chute du vide dans les capacités 2, 3 et 4, et finalement l'arrêt de l'appareil. — Donc, dans le condenseur-éjecteur, pas plus que dans le giffard ordinaire, l'écoulement ne saurait être continu sans occasionner la dépense incessante d'une certaine quantité de vapeur. — La tension du ressort *r* doit donc être réglée de manière que pour le plus fort vide prévu, le piston-vanne *v* laisse encore passer la quantité de vapeur nécessaire pour maintenir l'écoulement.

Supposons maintenant que la machine soit en marche, la communication étant établie entre la capacité 2 et les orifices d'évacution des cylindres. Le vide produit dans la capacité 2 déterminera un vide correspondant dans les conduits d'évacuation et par suite dans les cylindres eux-mêmes, et de cette manière l'appareil remplit l'office d'un condenseur. Si la vapeur qui s'échappe des cylindres à chaque période d'évacuation, a une pression notablement supérieure à celle qui existe dans la capacité 2, cette vapeur se précipitera dans cette capacité, avec une certaine vitesse. Elle viendra faire enveloppe autour du tuyau conique *e* et se dirigera vers l'orifice de sortie du tuyau *f*, en se mélangeant avec l'eau d'injection, dont elle augmentera la force vive. La quantité de vapeur à introduire dans l'intérieur du tube *a*, nécessaire pour entrenir le mouvement, devra être moindre. Cette dépense de vapeur pourrait même être supprimée, si chaque afflux d'évacuation était capable de rendre à la veine liquide, la force vive que les frottements lui ont fait perdre dans l'intervalle qui s'écoule entre deux évacuations consécutives. — Par contre, si au commencement de chaque période d'évacuation, la vapeur qui sort du cylindre

possède une pression égale ou inférieure à celle qui existe dans la capacité 2, cette vapeur devra être entraînée par le jet liquide et diminuera sa force vive. Dans ce cas, la quantité de vapeur à introduire dans le tube *a* devra être augmentée pour que l'écoulement de l'eau d'injection soit continu.

Lorsque la vapeur d'évacuation vient en aide au giffard, la quantité de vapeur dépensée par cette partie de l'éjecteur peut être réduite au moyen d'un robinet placé sur le tuyau qui vient se raccorder en *o*, et qu'on ferme graduellement tant que le vide se maintient. — Mais dans ces conditions de fonctionnement, la force vive dont est animé le jet liquide, éprouve des variations périodiques dues à l'action intermittente de la vapeur qui évacue les cylindres. Il en résulte qu'au moindre ralentissement de la machine, le jet liquide se brise à l'entrée du cône divergent 5 et se répand dans la capacité 3. Le vide tombe immédiatement dans cette capacité, avant qu'il en soit de même dans la capacité 2; le ressort *r* n'étant plus contre-tenu par une force suffisante, ouvre le piston-vanne *v*, qui laisse passer la quantité de vapeur nécessaire pour amorcer de nouveau l'éjecteur. — L'eau qui s'est répandue dans la capacité 3 passe par le tube N et pénètre dans la capacité 4, d'où elle est de nouveau lancée dans la circulation par l'aspiration produite dans cette capacité.

A la rigueur, avec un seul conduit d'évacuation pour tous les cylindres, la capacité 3 pourrait être supprimée et le tube *u* mis en communication avec la capacité 2. Mais il faut remarquer que la puissance d'aspiration de la veine liquide diminue à mesure qu'on s'éloigne de l'extrémité du giffard, de sorte que le vide est moins parfait dans la capacité 3 que dans la capacité 2. L'existence de la capacité 3 est donc une garantie pour le bon fonctionnement de l'appareil, et pour ne pas être exposé à remplir les cylindres d'eau.

Nous avons supposé que le réservoir d'injection et l'orifice de sortie du tuyau de décharge était à la même hauteur. C'est ce qui aura lieu généralement en appliquant le condenseur-éjecteur sur la machine d'un bâtiment. A terre, la force vive du jet liquide pourrait être augmentée en élevant le réservoir de l'eau d'injection et on pourrait alors réduire la quantité de vapeur dépensée par le giffard. Par contre, si le réservoir d'injection était placé plus bas que l'éjecteur, il faudrait élever cette eau d'une certaine quantité, et il résulterait une augmentation de la dépense de vapeur nécessaire pour entretenir l'écoulement.

N° 47_3 Résultats des expériences faites sur le condenseur-éjecteur Morton. — Le condenseur-éjecteur *Morton* a été expérimenté en Angleterre par M. le professeur *Macquorn Rankine*, sur une petite machine ordinaire à pilon et à deux cylindres d'une puissance de 24 chevaux indiqués. Cette machine a été construite et montée dans les ateliers de MM. *Neilson frères*, à *Glascow*, dans le but de détailler la construction et le fonctionnement de ce nouvel appareil inventé par M. *Alexandre Morton*, de leur maison.

Voici les moyennes des résultats obtenus dans les deux séries d'expé-

riences les plus importantes, pendant lesquelles le nombre de tours a été de 93 et de 107.

Pression absolue aux chaudières, en colonne de mercure	255c.m
Pression absolue de la vapeur au moment de l'évacuation	57c.m
Température correspondante	92°
Pression absolue dans le condenseur-éjecteur	14c.m
Vide correspondant au condenseur	62c.m
Contre-pression moyenne aux cylindres	20c.m
Température initiale de l'eau d'injection	8°,3
Température finale de l'eau d'injection	30°,7
Puissance indiquée	26ch,2
Dépense de vapeur par cheval et par heure (d'après l'indicateur)	9kg,887
Rapport entre le poids de vapeur réellement condensée et le poids de vapeur dépensée d'après l'indicateur	2,475

Les résultats ci-dessus montrent que le condenseur-éjecteur *Morton* est capable de procurer un vide convenable et qui peut devenir égal à celui des condenseurs ordinaires. — Il paraît, en effet, qu'à la suite de modifications apportées aux extrémités des cônes, pour leur donner la forme indiquée par la *fig.* 25, *pl.* V, le vide a pu monter à 66 centimètres. D'autre part, l'augmentation de la vitesse de rotation paraît plus favorable que nuisible au bon fonctionnement de l'appareil. — Mais si l'on considère le rapport qui existe entre le poids de la vapeur réellement condensée par l'eau d'injection et le poids de vapeur accusé par l'indicateur, on est frappé de l'énorme dépense de fluide nécessaire pour entretenir le fonctionnement continu de ce genre de condenseur. Il n'est pas admissible, en effet, que les entraînements d'eau ou les condensations à l'intérieur du cylindre, aient atteint une valeur telle que la dépense de vapeur ait été plus que doublée, car la machine faite pour l'appareil a dû être construite dans les meilleures conditions. Cette circonstance diminue singulièrement le bénéfice de 4 p. 100 que M. le professeur *Rankine* attribue à la suppression de la pompe à air. Il est regrettable qu'on n'ait pas songé à munir la machine d'un condenseur ordinaire avec pompe à air, et de faire des expériences comparatives en mesurant, au moyen d'un frein de Prony, le travail disponible sur l'arbre, en même temps que la quantité de charbon dépensé à la chaudière. La puissance de la machine se prêtait parfaitement à ce genre d'expériences, les seules capables de montrer la valeur exacte du nouveau condenseur.

En France, M. *Audenet*, ingénieur de la marine, a fait sur le condenseur-éjecteur *Morton*, quelques expériences intéressantes que nous allons résumer.

I. *Entraînement d'une veine d'eau par de la vapeur à très-basse pression.* — L'appareil employé se composait d'un cylindre allongé en fonte, dans lequel se trouvaient deux cônes en bronze; il se terminait par un tube légèrement conique, dont le diamètre augmentait en allant vers l'intérieur, comme le tube divergent des injecteurs ordinaires. L'axe commun des trois cônes était vertical. L'eau de condensation provenait d'une baille dont le niveau pouvait varier ou être maintenu constant. On commençait toujours l'expérience avec un niveau assez élevé pour que l'écoulement

pût se faire de lui-même, sans jet de vapeur auxiliaire. La température de l'eau d'injection a varié de 15° à 20°.

La vapeur sortait d'une capacité qui elle-même était en communication avec une chaudière au moyen d'un robinet. Cette capacité, qui représentait le cylindre d'une machine, était munie d'un manomètre et d'un baromètre. Une fois l'appareil en fonctionnement, on réglait l'ouverture du robinet de manière à faire varier la tension de la vapeur, qui pouvait ainsi, soit être descendue au-dessous de la pression atmosphérique, soit être maintenue au-dessus.

A chaque expérience, on mesurait, pour des tensions variables de la vapeur d'échappement, le vide déterminé par l'entraînement de la veine liquide, ainsi que la température et la vitesse d'écoulement de l'eau de condensation. — Il a été fait deux séries d'expériences; l'une en faisant arriver la vapeur autour du jet liquide, l'autre en amenant la vapeur au centre de ce jet. L'ensemble de ces expériences a donné lieu aux observations suivantes :

1° Il existe deux limites au delà desquelles l'appareil ne peut fonctionner. Ainsi, quand la tension de la vapeur est trop élevée, cette vapeur arrive en trop grande quantité pour pouvoir être condensée, et au lieu d'entraîner l'eau, elle la refoule au réservoir d'injection. Quand au contraire la pression est trop basse, l'entraînement cesse également, mais c'est alors l'eau qui se précipite du côté de la vapeur. — Des appareils semblables, comme dimensions, ne se comportent pas d'une manière identique. Cela paraît tenir à ce que les couches intérieures et les couches extérieures de la veine d'eau n'agissent pas avec la même efficacité. — Lorsqu'on passe d'un petit appareil à un grand, la condensation devient relativement moins facile, tandis qu'en même temps la masse d'eau à entraîner devient plus grande.

2° Avec la vapeur intérieure au jet liquide, les diamètres des trois cônes étaient égaux entre eux et successivement de 7, 10 et 11 millimètres, on a fait varier dans chaque expérience, la section annulaire de l'arrivée de vapeur de manière à obtenir le meilleur résultat. On a constaté que la tension limite maxima de la vapeur, nécessaire pour entretenir le mouvement de la veine liquide, était à peu près la même pour chaque diamètre expérimenté, quel que fût le rapport entre la section d'arrivée de vapeur et celle d'arrivée de l'eau, rapport qui a varié de 2,5 à 10 environ, mais que cette tension dépend du diamètre du jet, et qu'elle est d'autant plus faible que ce diamètre est plus petit. Ainsi, on a eu :

DIAMÈTRE des cônes.	VIDE MAXIMA au réservoir de vapeur permettant l'entraînement de la veine d'eau.
millimèt.	centimètres de mercure.
7	48 à 42; en moyenne 44
10	41 à 37; *id.* 38
11	38 à 32; *id.* 35

Il y a lieu de noter que toutes choses égales d'ailleurs, la température de condensation était toujours plus élevée avec un petit jet d'eau froide, et qu'elle croissait pour un même diamètre de ce jet quand on augmentait la section d'arrivée de vapeur, bien que la tension limite de fonctionnement restât dans ce cas sensiblement la même.

3° Dans les expériences qui ont été faites avec la vapeur à l'extérieur du jet, le cône de vapeur avait 20 millimètres de diamètre, les autres cônes conservaient le diamètre de 11 millimètres. En faisant varier la position du cône d'eau, la zone annulaire de l'arrivée de cette eau a eu successivement 2 millimètres, 1 millimètre, $0^{mm},5$ d'épaisseur. La température initiale de l'eau d'injection étant de 19°, on a obtenu les résultats suivants :

ÉPAISSEUR de la couche d'eau à l'arrivée.	VIDE MAXIMA au réservoir de vapeur permettant l'entraînement de la veine d'eau.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.
millimèt.	centimèt. de mercure	degrés centigrades.
2,0	40	29
1,0	50	30
0,5	40	35

Ainsi, l'épaisseur du jet circulaire de l'eau froide le plus avantageux pour les conditions de l'expérience, a été trouvé de 1 millimètre. En descendant plus bas, l'appareil s'arrête plus tôt, c'est-à-dire que le vide au cylindre ne peut s'élever au-dessus de 50 centimètres.

Il résulte des résultats relatés en 2° et en 3° ci-dessus, qu'on peut obtenir de meilleurs vides, sans jet de vapeur auxiliaire, en faisant arriver la vapeur d'évacuation au centre du jet d'eau d'injection, qu'en mettant la vapeur autour de ce jet. Dans ce dernier cas, qui est celui du condenseur-éjecteur, le vide au cylindre ne devrait pas être supérieur à 40 centimètres pour que la vapeur d'évacuation pût assurer d'elle-même la continuité du fonctionnement. Toutefois, il importe de remarquer que les cônes de l'appareil employé aux expériences dont il vient d'être question, ne présentaient pas la forme évasée de ceux du condenseur-éjecteur *Morton*, et que cette dernière peut être beaucoup plus favorable à l'entraînement de la veine liquide par un courant extérieur de vapeur. — Au surplus, voici à ce point de vue les résultats obtenus avec un condenseur *Morton*.

II. *Expériences d'entraînement de la veine liquide par la vapeur d'évacuation, dans un condenseur-éjecteur Morton.* — M. *Audenet* a expérimenté un condenseur-éjecteur *Morton* appliqué à la machine à deux cylindres inclinés du remorqueur *le Chastan*. Nous ne rapporterons de ces expériences que ce qui a trait à l'entraînement de la veine liquide par la vapeur d'évacuation. Disons d'abord que l'introduction a été maintenue constante à 0,4, l'ouverture de la valve à 0,1, la pression aux chaudières à $3^{at},2$ et le nombre de tours à 160. La température de l'eau d'injection était

de 5° environ. Les cônes avaient 22mm,5, 25 millimètres et 26 millimètres de diamètre. Le diamètre du jet de vapeur auxiliaire était de 14 millimètres. L'eau d'injection prise à la mer était rejeté à 0m,15 au-dessus du niveau. Enfin, le régulateur O (*fig.* 25, *pl.* V), avait été supprimé et remplacé par un robinet de 15 millimètres de diamètre, dont on faisait varier l'ouverture de manière à déterminer dans quelles limites le jet auxiliaire de vapeur pouvait être supprimé. — Voici les résultats obtenus :

OUVERTURE du jet auxiliaire de vapeur.	VIDE MOYEN aux tuyaux d'échappement.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.
en dixièmes.	centimèt. de mercure.	degrés centigrades.
10	46,0	41
8	40,0	41
6	44,0	39
4	45,0	36
2	45,5	35

Avec une ouverture de 2 dixièmes du jet auxiliaire de vapeur, la machine n'a pu marcher qu'une minute, puis le vide est tombé et l'eau refoulée par la pression atmosphérique a envahi les cylindres.

Ainsi, dans les conditions de marche de la machine, la force vive de la vapeur d'échappement est complétement insuffisante pour maintenir l'écoulement de la veine liquide. On peut remarquer que le vide aux tuyaux d'échappement a été très-médiocre, même lorsque le jet auxiliaire de vapeur était ouvert en grand. L'appareil ne fonctionnait donc pas dans des conditions telles que les résultats obtenus puissent être considérés comme définitifs. Au surplus, il importe de remarquer que l'appareil n'était pas muni d'un système de retour d'eau formé par les capacités 3 et 4, mises en communication par le tube N (*fig.* 25, *pl.* V). Ce système de retour d'eau aurait probablement permis de réduire au-dessous de 2 dixièmes l'ouverture auxiliaire du jet de vapeur. En effet, la veine liquide se brise d'abord à l'entrée du cône divergent, et l'action du vide de la capacité 3 se faisant alors sentir, il en résulte une augmentation de force vive de la veine liquide qui détermine encore l'écoulement. Une nouvelle évacuation aurait alors eu le temps de se produire, et de remettre l'instrument dans les conditions normales de bon fonctionnement. D'un autre côté, la perte de 6 centimètres de vide en passant de l'ouverture en grand du jet auxiliaire à une ouverture de 8 dixièmes, et l'augmentation progressive, mais lente, qui se manifeste ensuite à mesure que l'ouverture du jet auxiliaire diminue, proviennent sans doute de ce qu'on n'avait pas convenablement proportionné la réduction de la veine d'eau d'injection et la réduction du jet de vapeur auxiliaire.

Quoi qu'il en soit, il importait de déterminer directement quelle tension minima devrait avoir la vapeur, et par suite quel serait le vide maxima au cylindre qu'il ne faudrait pas dépasser pour pouvoir fonctionner sans

jet auxiliaire. Pour résoudre cette question, on a fait une série d'expériences avec la machine arrêtée, en envoyant directement aux tuyaux d'échappement, de la vapeur dont on mesurait la tension. On établissait d'abord l'écoulement d'eau au moyen du jet auxiliaire, puis on faisait arriver de la vapeur à l'extérieur, en assez grande abondance pour pouvoir maintenir l'écoulement. Le jet auxiliaire était alors fermé, et en étranglant graduellement l'arrivée de vapeur au tuyau d'échappement, on déterminait la tension cherchée. — Les cônes ayant 17, 19 et 21 millimètres, on a constaté que la vapeur d'échappement devait avoir une tension correspondant à un vide de 25 à 30 centimètres au plus, pour maintenir un écoulement constant.

III. *Expériences d'entraînement de la veine liquide par la vapeur d'évacuation, dans le condenseur-éjecteur Morton perfectionné.* — Enfin, un essai beaucoup plus intéressant a été fait avec un appareil semblable à celui qui est représenté en *fig.* 25, *pl.* V, les cônes ayant 17, 19 et 19 millimètres. Dans ces conditions la machine a pu fonctionner sans jet auxiliaire, celui-ci servant seulement à déterminer le mouvement de la veine liquide lors de la mise en marche. Mais le vide était fort médiocre, peut-être à cause de la réunion des deux échappements. Voici quelques-uns des résultats obtenus avec une introduction aux cylindres de 0,4 et une ouverture de la valve de 0,2, l'eau d'injection étant prise à 15°.

PRESSION ABSOLUE à la chaudière.	NOMBRE de tours par minute.	VIDE aux tuyaux d'échappement.	TEMPÉRATURE de l'eau de condensation.
atmosph.		centimèt. de mercure.	degrés centigrades.
2,0	104	33	44
2,5	112	32	49
4,0	121	30	52

Bien que ces résultats ne donnent pas la mesure de ce qu'on peut attendre du condenseur-éjecteur *Morton*, il n'en reste pas moins établi que cet appareil ne saurait fonctionner sans le secours d'un jet auxiliaire de vapeur, si l'on veut obtenir le même vide qu'avec un condenseur ordinaire.

N° 47_4 Comparaison de ce condenseur avec le condenseur ordinaire. — Dans les meilleures machines marines, la pompe à air d'un condenseur à mélange absorbe de 2 à 2,5 p. 100 du travail moteur sur les pistons, tant pour l'extraction de l'eau que pour l'extraction de l'air du condenseur. Dans les condenseurs ordinaires par mélange, on laisse inutilisées :

1° La force vive que possède l'eau d'injection, au moment de son entrée dans le condenseur, et dont la moitié représente le travail théorique nécessaire à son extraction. Cette force vive étant entièrement détruite, se transforme en une certaine quantité de chaleur qui nécessite un surcroît d'eau d'injection, ce qui fait augmenter le travail de la pompe à air.

2° La force vive qu'acquiert la vapeur d'évacuation en passant du cylindre dans le condenseur. Cette force vive est considérable par la vitesse que prend alors la vapeur, vitesse qui peut s'élever à plusieurs centaines de mètres par seconde, et représente par suite une quantité de travail d'une certaine importance.

Le condenseur-éjecteur *Morton* permet d'utiliser une partie de la force vive de la vapeur qui évacue le cylindre; mais il ne saurait utiliser celle que possède l'eau d'injection à son entrée dans un condenseur ordinaire. En effet, dans cet appareil, l'eau d'injection ne fait que traverser la capacité où on fait le vide, et nous avons expliqué au n° 47_2 que ce vide n'a aucune tendance à maintenir le mouvement de la veine liquide. D'ailleurs, pour peu qu'on y réfléchisse, on reconnaît que pour qu'un liquide puisse sortir d'une capacité où la tension est moindre que celle de l'atmosphère, il est nécessaire qu'il soit animé d'une vitesse au moins égale à celle qui serait déterminée par la différence de pression correspondante; autrement, l'air extérieur refoulerait le liquide et pénétrerait dans la capacité. Or, la force vive qui correspond à cette vitesse et qu'il faudra dépenser, est précisément équivalente au travail nécessaire pour entraîner la même quantité d'eau d'un condenseur ordinaire. Il n'y a donc absolument rien à gagner à cette manière d'opérer; et il y aura certainement perte si l'on emploie directement la vapeur, comme on le fait dans l'injecteur Giffard, pour obtenir la vitesse voulue; car, d'une part, cet instrument n'utilise par lui-même qu'une portion minime de la puissance de la vapeur dépensée, et d'autre part, on aura l'inconvénient d'échauffer l'eau employée à condenser cette vapeur.

La quantité d'air à extraire du condenseur-éjecteur est exactement celle qu'il faudrait enlever d'un condenseur à mélange; le travail à dépenser doit être le même dans les deux cas, soit environ la moitié de celui qui correspond au fonctionnement d'un condenseur à mélange.

Le seul avantage que le condenseur-éjecteur puisse présenter au point de vue économique, ne peut donc consister que dans l'utilisation plus ou moins complète de la force vive que possède la vapeur lorsqu'elle s'échappe des cylindres. Pour bénéficier du travail nécessité par le fonctionnement de la pompe à air, il faut que, sans diminuer le vide dans les cylindres, et en supprimant le jet auxiliaire de vapeur dans le fonctionnement normal, on utilise de la force vive possédée par la vapeur à l'évacuation, une partie équivalente à 2 p. 100 environ du travail moteur sur les pistons. Or, ce nouveau condenseur n'a pu encore fonctionner dans ces conditions. Il a fallu un jet de vapeur auxiliaire assez énergique pour maintenir un vide convenable sous les pistons; et quand ce jet a été supprimé, le vide est tombé de manière à réduire le travail moteur dans des proportions notables, ou bien l'instrument a cessé de fonctionner.

Ajoutons que cet appareil est très-sujet à se désamorcer par suite de rentrées d'air, d'entraînements d'eau par la vapeur, ou d'un ralentissement de la machine. Comme la capacité qui forme le condenseur est très-faible, cette capacité se remplit très-rapidement. On sera donc exposé à envoyer

de l'eau aux cylindres toutes les fois qu'une cause accidentelle viendra désamorcer le jet. Il est vrai que la soupape régulatrice O (*fig.* 25, *pl.* V) est destinée à prévenir cet inconvénient; mais il résulterait alors un surcroît de dépense de vapeur. — D'un autre côté, le condenseur-éjecteur ne semble pas applicable avec avantage aux machines des bâtiments de mer, parce qu'il est reconnu aujourd'hui qu'au point de vue de l'économie, les chaudières de ces machines doivent fonctionner à l'eau douce, et que l'emploi pour la condensation d'eau douce, qu'il faudrait sans cesse refroidir, ne paraît pas praticable sans de grandes complications. La vapeur d'échappement n'ayant, en effet, que bien juste la force nécessaire pour imprimer à l'eau de condensation renvoyé à l'air libre, la vitesse voulue, ne saurait imprimer à cette eau la force vive qu'il lui faudrait pour circuler dans les tubes longs et étroits d'un réfrigérant. Il faudrait donc à la fois une pompe pour la circulation de l'eau de mer et une pompe pour la circulation de l'eau douce. On retomberait ainsi dans une complication et dans une dépense de travail supérieures, probablement, à celles qu'on chercherait à éviter en supprimant la pompe à air. Au surplus, le fonctionnement du condenseur-éjecteur doit certainement être très-influencé par les changements de niveau que peuvent produire le roulis et le tangage, soit du côté de l'arrivée de l'eau d'injection, soit du côté de l'orifice de sortie. Il doit être par suite très-sujet à se désamorcer par mauvais temps; on serait alors exposé à faire des avaries graves.

Quoi qu'il en soit, l'appareil dont nous venons de nous occuper est certainement très-curieux. Il est sans doute susceptible de perfectionnements et mérite d'être expérimenté d'une manière plus complète qu'on ne l'a fait jusqu'à présent. Il ne suffit pas de mesurer le vide qu'il produit, ou les pressions minima à l'évacuation qui peuvent assurer son fonctionnement; il faut l'expérimenter comparativement avec la pompe à air, en mesurant chaque fois le travail disponible sur l'arbre par kilogramme de charbon brûlé.

N° 48. — 1. Description et fonctionnement d'un condenseur à surface démonstratif — 2. Description des principaux types de condenseurs à surface actuellement en usage. — 3. Condenseurs à surface avec pompe à air faisant en même temps fonction de pompe de circulation : système américain et système français. — 4. Métal, forme, dimensions et confection des tubes des condenseurs à surface. Métal des plaques de tête. — 5. Divers systèmes de joints des tubes des condenseurs à surface avec les plaques de tête.

N° 48_1 Description et fonctionnement d'un condenseur à surface démonstratif. — Dans les condenseurs à surface, la vapeur et l'eau refroidissante ne sont pas en contact et ne peuvent se mélanger. C'est par l'intermédiaire d'un métal bon conducteur de la chaleur que l'eau froide liquéfie la vapeur. Cette dernière est prise par la pompe à air, dans le fond du condenseur, et envoyée dans un réservoir nommé bâche à eau douce, où débou-

che le tuyau d'aspiration de la pompe alimentaire. Les condenseurs à surface fonctionnent exactement, au point de vue de la liquéfaction de la vapeur, comme les condensateurs depuis longtemps en usage dans la marine, pour faire de l'eau douce. Mais actuellement, dans les condenseurs à surface, la vapeur est généralement autour des tubes, tandis que l'eau réfrigérante circule à l'intérieur; de plus, comme la quantité de vapeur à liquéfier est considérable, l'appareil a dû prendre de plus grandes proportions. D'autre part, l'échauffement de l'eau réfrigérante ne suffisant pas pour déterminer un renouvellement convenable de cette eau, une pompe est devenue nécessaire pour effectuer ce renouvellement; elle a pris le nom de *pompe de circulation* ou à eau froide.

La *fig.* 19 représente un condenseur à surface disposé de manière à montrer le fonctionnement de ce nouveau genre d'appareils. Afin que le lecteur puisse se rendre compte par un simple coup d'œil, des mouvements simultanés des deux fluides, eau et vapeur, nous avons indiqué ces mouvements par des flèches qui sont non-seulement différentes pour chacun d'eux, mais différentes pour le même fluide suivant son état d'avancement dans le condenseur.

———> Cette flèche indique l'entrée de la vapeur dans le condenseur et la circulation de cette vapeur autour des tubes au contact desquels elle se liquéfie.

➽———> Cette flèche indique le chemin que suit la vapeur condensée pour se rendre aux clapets d'aspiration de la pompe à air et de là aux clapets de bâche.

➤———> Cette flèche indique l'entrée de l'eau provenant de la condensation, dans la bâche à eau douce.

———≫ Cette flèche indique le chemin suivi par l'eau réfrigérante à travers les clapets de la pompe de circulation et dans le conduit qui l'amène aux tubes du condenseur.

➽———≫ Cette flèche indique le trajet de l'eau réfrigérante ou de circulation, dans les coquilles et à travers les tubes du condenseur qu'elle parcourt en trois groupes séparés.

➤———➧ Cette flèche indique la sortie de l'eau de circulation du dernier groupe de tubes du condenseur, et son entrée dans le tuyau de décharge qui doit la déverser à la mer.

Nous allons donner maintenant la description des diverses parties dont se compose le condenseur à surface démonstratif *fig.* 19, en accompagnant cette description de quelques explications nécessaires à l'intelligence du mode de fonctionnement de ce nouveau condenseur.

Légende.

Vue 1°. Coupe suivant YY de la vue 2°, avec portions d'élévation longitudinale.
Vue 2°. Coupe suivant XX de la vue 1°, avec portions d'élévation transversale.

α Tubes du condenseur, dans l'intérieur desquels circule l'eau réfrigérante. L'ensemble du faisceau tubulaire est divisé en trois groupes que l'eau parcourt successivement

en renversant sa marche. Cette eau traverse d'abord le groupe inférieur, de l'avant à l'arrière; puis le groupe milieu, de l'arrière à l'avant; enfin le groupe supérieur, de l'avant à l'arrière. Le volume formé par l'intérieur des tubes et par les coquilles des portes du condenseur constitue ce qu'on nomme *la chambre à eau.*

A_f Tuyau d'arrivée de l'eau réfrigérante, ou *eau de circulation*. Cette eau est aspirée à la mer par la pompe P_f qui l'envoie ensuite dans la chambre à eau du condenseur. Le tuyau A_f porte, près de la muraille du bâtiment, un robinet obturateur que l'on ferme quand la machine cesse de fonctionner.

A'_f Tuyau d'aspiration à la cale de la pompe de circulation. En fermant le robinet obturateur placé sur l'aspiration à la mer, A_f, et en ouvrant le robinet *d*, la pompe de circulation P_f aspire à la cale et devient ainsi un auxiliaire puissant en cas de voie d'eau.

Ærᵉ Arrière.

Æᵗ Avant.

B_a Bâche à eau douce. C'est dans cette capacité que la pompe à air refoule l'eau provenant de la condensation de la vapeur, et où les pompes alimentaires puisent l'eau nécessaire pour maintenir le niveau aux chaudières.

Bᵈ Bâbord.

C_o Caisse à tubes ou condenseur proprement dit. Cette caisse a sensiblement la forme d'un parallélipipède rectangle dont les faces opposées, avant et arrière, qui servent de plaques de tête aux tubes, sont en bronze et rapportées. Tout le volume laissé libre autour des tubes se nomme la *chambre à vapeur du condenseur*. — La vapeur pénètre dans le condenseur par le conduit E‴; elle contourne les tubes constamment refroidis par le courant d'eau qui les traverse, et se liquéfie à leur contact. Les produits de la condensation tombent dans la capacité D'_e, située au-dessous du condenseur, d'où ils sont extraits par la pompe à air.

D_e Tuyau de décharge accidentelle. Cette décharge est destinée à évacuer l'air extrait du condenseur et le trop-plein d'eau douce de la bâche. Ce trop-plein peut se produire dans une des circonstances suivantes : 1° lorsque l'alimentation n'étant pas convenablement réglée, on laisse tomber le niveau aux chaudières; 2° lorsqu'il se produit des fuites par les joints des tubes du condenseur sur leurs plaques de tête, parce qu'une certaine quantité d'eau de circulation pénètre alors dans le condenseur et vient se mélanger à l'eau douce; 3° lorsqu'on ouvre les purges des enveloppes des cylindres, et que ces enveloppes contiennent une grande quantité d'eau, ou bien lorsqu'il se produit des entraînements de l'eau des chaudières. — Le tuyau D_e débouche le plus souvent dans une caisse d'où l'eau douce est reprise par le petit cheval pour servir à l'alimentation; mais quelquefois le tuyau D_e débouche à l'extérieur, un peu au-dessus du niveau de la mer, ou bien vient s'embrancher sur le tuyau de décharge D_f de la pompe de circulation. Il est alors muni du robinet 19 qui lui sert d'obturateur, et d'un clapet de retenue destiné à empêcher l'eau de mer de pénétrer accidentellement dans la bâche à eau douce.

D'_e Conduit de communication de la pompe à air avec la chambre à vapeur du condenseur à surface. C'est par ce conduit que la vapeur condensée et l'air existant dans ladite chambre se rendent aux clapets d'aspiration de la pompe à air.

D_f Conduit et tuyau de décharge de l'eau de circulation. Après avoir traversé le groupe supérieur des tubes du condenseur, l'eau de circulation est déversée dans la coquille *n‴* qui se prolonge horizontalement en abord, en se renflant pour former l'amorce du tuyau de décharge D_f. Ce dernier tuyau est muni d'un obturateur placé près de la muraille du bâtiment; il porte quelquefois une soupape de sûreté, destinée à prévenir tout accident dans le cas où on oublierait d'ouvrir cet obturateur avant de mettre en marche. D'autrefois, la soupape de sûreté en question se trouve sur une des coquilles que forment les portes du condenseur.

D'_f Conduit de communication de la chambre à eau du condenseur avec le refoulement de la pompe de circulation. Ce conduit communique avec les deux refoulements de la pompe; il passe en dessous de la pompe à air, et aboutit au milieu de la largeur de la coquille inférieure *n*, formée par la porte avant du condenseur.

d Robinet obturateur du tuyau A'_f d'aspiration à la cale de la pompe de circulation. Ce robinet est seulement ouvert lorsque la pompe de circulation doit fonctionner comme

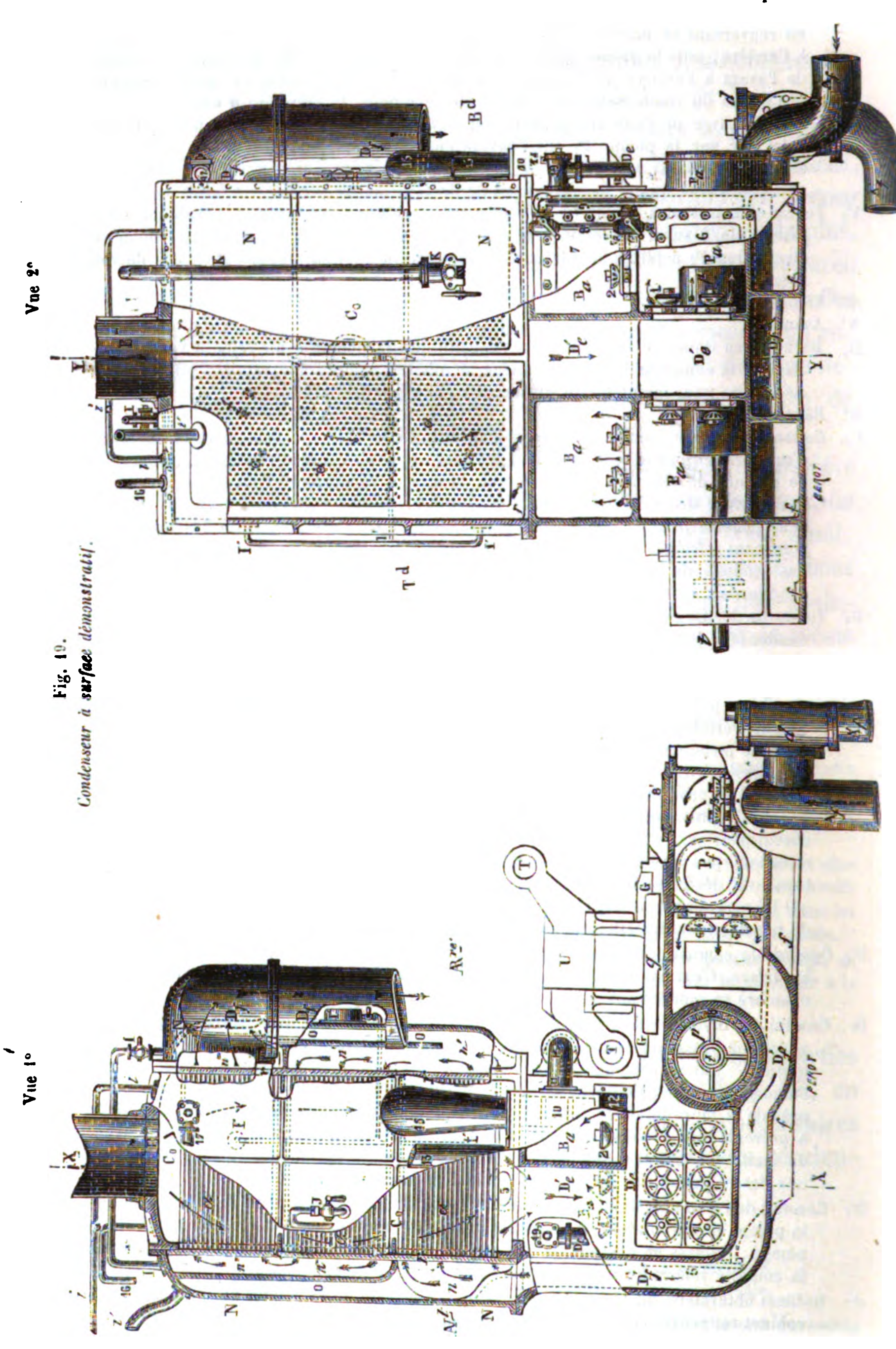


Fig. 19.
Condenseur à surface démonstratif.

pompe de cale ; et il ne faut y toucher qu'après avoir fermé l'obturateur placé sur le tuyau Af d'aspiration à la mer.

E''' Tuyau formant le prolongement du conduit d'évacuation, et amenant la vapeur qui s'échappe du cylindre dans la chambre à vapeur du condenseur.

f Brides de fixation du condenseur avec les carlingues du navire, et bossages dans lesquels sont percés les trous pour recevoir les boulons qui relient le condenseur aux carlingues.

G Glissière de grande traverse.

g Coulisseau de grande traverse.

I Tuyautage permettant d'établir, à l'aide de robinets *ad hoc*, une communication entre l'atmosphère et la partie supérieure des compartiments ou coquilles de la chambre à eau du condenseur. On ouvre cette communication au moment de la mise en marche, pour laisser échapper l'air que contenait la chambre à eau. Cet air étant refoulé par l'eau de circulation, se logerait dans la partie haute des coquilles et dans les tubes supérieurs du condenseur, en empêchant l'eau d'atteindre ces derniers. — Dans le cas particulier où la pompe de circulation agirait par aspiration à travers les tubes du condenseur, au lieu d'agir par refoulement, les tuyaux I ne devraient pas déboucher dans l'atmosphère, mais bien dans la chambre à vapeur du condenseur. — Dans tous les cas, il importe de remarquer que les communications en question ne sont réellement utiles que lorsque le sommet du condenseur est au niveau de la mer ou un peu au-dessus de ce niveau.

I' Indicateur du vide et tuyautage mettant cet indicateur en communication avec la chambre à vapeur du condenseur. Le tuyautage en question est disposé de manière que l'indicateur du vide soit en communication avec deux points de la chambre à vapeur, l'un situé à mi-hauteur du groupe supérieur des tubes, l'autre situé à mi-hauteur du groupe inférieur.

i Tuyautage ramoneur, établissant une communication entre le tuyau de prise de vapeur du petit cheval et la partie supérieure de la chambre à vapeur du condenseur. Ce tuyautage sert à envoyer, lors de l'arrivée au mouillage, un jet rapide de vapeur dans le condenseur, pour faire fondre les graisses qui se sont figées sur les tubes pendant le fonctionnement. Ces graisses tombent alors dans le fond du condenseur, d'où elles sont extraites par la porte de visite 5.

i' Tuyautage établissant une communication entre le refoulement de la pompe du petit cheval et la chambre à eau du condenseur. La pompe de circulation ne fonctionnant pas pendant les arrêts de la machine, les tubes du condenseur, ceux du groupe supérieur surtout, sont exposés à être échauffés outre-mesure, soit par la vapeur que peuvent laisser passer les valves et les tiroirs, soit par les purges des cylindres ou de leurs chemises, soit enfin par l'évacuation des petits chevaux, ou même des soupapes de sûreté lorsque ces évacuations débouchent au condenseur. Dans cette occurrence, on fait fonctionner un petit cheval qui, prenant l'eau à la mer, la refoule dans la chambre à eau du condenseur par le tuyau *i'*, et y détermine une circulation suffisante pour empêcher les tubes de prendre une température trop élevée. L'installation dont il s'agit est inutile lorsque la pompe de circulation a un moteur indépendant de la machine elle-même. — On pourrait aussi, par le même moyen, déterminer ou entretenir le vide ou condenseur, de manière à faciliter le balancement ou la mise en marche de la machine.

J Tuyau et robinet servant à introduire du bicarbonate de soude dans la chambre à vapeur du condenseur. Le bicarbonate est d'abord délayé dans l'eau, puis on présente le vase qui contient cette eau ainsi préparée, au-dessous du tuyau J, qu'on fait plonger jusqu'au fond du vase. On ouvre alors le robinet, et le liquide passe dans le condenseur en vertu de l'excès de la pression atmosphérique sur la pression de cet organe. — Le bicarbonate de soude a pour effet de saponifier les graisses que la vapeur entraîne au condenseur, et qui ont servi au lubrifiage du tiroir et du cylindre; ces graisses deviennent alors solubles dans l'eau, comme le savon; elles adhèrent plus difficilement aux tubes du condenseur, et les acides gras deviennent presque sans effet, soit sur les tubes eux-mêmes, soit sur le métal des chaudières. — On ne fait pas usage du bicarbonate de soude sur tous les bâtiments ; mais lorsqu'il est employé, l'eau de la bâche devient savonneuse quelques instants après, ce qu'on

reçonnaît à la couleur brune que prend cette eau dans le tube de niveau 8. Il faut alors purger cette bâche jusqu'à ce que l'eau soit claire. A cet effet, il faut avoir eu la précaution de remonter le niveau des chaudières, afin de ne pas avoir à alimenter pendant le temps de la purge. Cette dernière s'effectue en ouvrant le robinet réparateur K, ce qui forme une injection directe dans le condenseur; la bâche à eau douce se remplit, et l'excédant d'eau s'écoule par le tuyau de décharge D_e. On purge en même temps le niveau 8, et le réparateur K est fermé dès que l'eau est claire dans ce tube. On rétablit ensuite les alimentations.

K Réparateur des pertes d'eau d'alimentation. Cet organe consiste en un robinet et un tuyau par l'intermédiaire desquels on met en communication la chambre à eau avec la chambre à vapeur du condenseur. Le robinet est mû par une vis sans fin; il est monté sur la porte avant du condenseur et communique directement à travers cette porte, avec la coquille inférieure *n*, dans laquelle arrive l'eau de circulation. Le tuyau débouche dans la chambre à vapeur, au-dessus du groupe supérieur des tubes. Lorsque l'eau d'alimentation devient insuffisante, ce que l'on reconnaît au faible niveau de la bâche, alors que les niveaux aux chaudières ne sont pas trop élevés, on ouvre le réparateur K, et une certaine quantité d'eau de circulation passe dans le condenseur et de là dans la bâche, d'où elle est prise par la pompe alimentaire et envoyée aux chaudières.

— Comme on perd toujours une certaine quantité d'eau d'alimentation, soit par les fuites des chaudières, soit par les fuites extérieures de la machine, on a souvent besoin d'ouvrir le réparateur K, pourvu toutefois que les tubes du condenseur soient bien étanches. La vis sans fin dont est muni le réparateur, sert alors à régler son ouverture de façon à introduire d'une manière continue, la petite quantité d'eau nécessaire à chaque instant pour compléter l'alimentation des chaudières. Cette manière de faire est préférable à celle qui consisterait à attendre que le manque d'eau soit bien sensible, puis à ouvrir grandement le réparateur, ce qui engorgerait le condenseur et ferait tomber le vide, parce que cette eau prendrait une part notable du volume de la pompe à air. D'ailleurs, la bâche à eau douce serait pleine au bout de quelques coups de piston, et le trop-plein s'échapperait par le tuyau de décharge D_e, tandis que le niveau serait encore bas aux chaudières.

— D'un autre côté, l'eau nécessaire à réparer les pertes d'alimentation pourrait être envoyée directement à la bâche à eau douce; mais ce serait alors comme si on alimentait directement les chaudières avec le petit cheval. Tandis qu'en passant dans le condenseur, cette eau s'échauffe, et apporte à la bâche, puis à la chaudière, une certaine quantité de la chaleur que l'eau a prise à la vapeur. Bien que l'eau qui passe par le réparateur amène une certaine quantité d'air dans le condenseur, le vide ne tombe pas, parce que cette eau est prise dans la circulation, là où la température est la plus basse, et qu'elle est injectée dans la partie supérieure du condenseur où elle active la liquéfaction de la vapeur. — Enfin, ajoutons que le réparateur K pourrait être employé comme organe d'injection directe, dans le cas où la pompe de circulation ne ferait pas passer une quantité suffisante d'eau à travers les tubes du condenseur, soit à cause du mauvais état de ses clapets, soit à cause de l'obstruction partielle de son tuyau d'aspiration, car l'eau introduite directement dans le condenseur agirait plus efficacement que celle qui circule dans les tubes. — D'autre part, nous avons expliqué en J, qu'on fait fonctionner le réparateur pour purger la bâche à eau douce, après l'introduction du bicarbonate de soude dans la chambre à vapeur du condenseur.

N Portes du condenseur. Elles sont au nombre de deux, placées l'une à l'avant, l'autre sur l'arrière. Il faut les démonter pour visiter les tubes du condenseur. Ces portes sont munies de doubles fonds qui forment des coquilles, dont les bords portent contre les plaques de tête des tubes, et qui sont disposées pour que l'eau de circulation parcoure successivement chaque groupe de tubes. Cette eau débouche d'abord dans la coquille *n*, de l'avant, qui n'est en communication qu'avec le groupe inférieur des tubes; elle parcourt ce groupe et débouche dans la coquille *n'*, de l'arrière, qui est en communication avec le groupe inférieur et avec celui du milieu; l'eau de circulation traverse ce dernier groupe et débouche dans la coquille *n''*, de l'avant, qui est en communication avec le groupe milieu et avec le groupe supé-

rieur; enfin, l'eau de circulation traverse ce dernier groupe et débouche dans la coquille n''', de l'arrière, qui est en communication avec le tuyau de décharge D_f.

n, n', n'', n''' Compartiments ou coquilles formées par les portes du condenseur et obligeant l'eau de circulation à traverser successivement les trois groupes de tubes. — Par cette disposition, l'eau de circulation est mieux utilisée, parce qu'elle sort du condenseur à une température plus élevée que si elle traversait en une seule fois l'ensemble du faisceau tubulaire. Il en résulte que pour la même quantité de chaleur à prendre à la vapeur, le poids d'eau de circulation est moindre; l'étendue de la surface tubulaire peut aussi être réduite.

o Réservoirs d'air ménagés, l'un au-dessus de la coquille n, l'autre à côté de la coquille n', et qui ont pour effet d'atténuer les coups de bélier produits par le refoulement de la pompe de circulation. Ces réservoirs d'air seraient non-seulement inutiles, mais encore nuisibles, si la pompe de circulation agissait par aspiration à travers les tubes du condenseur, au lieu d'agir par refoulement.

P_a Pompe à air à double effet, du système dit à piston plongeur. Le cylindre de cette pompe, beaucoup plus court que le piston et d'un diamètre plus grand que celui de ce dernier, porte au milieu de sa longueur, une garniture en bois de gaïac, formant comme un presse-étoupe dans lequel le piston glisse. Cette garniture partage la capacité totale de la pompe à air en deux parties égales, à chacune desquelles correspond une série de clapets d'aspiration et une série de clapets de refoulement.

P_e Pompe alimentaire à simple effet et à piston plongeur. Cette pompe est accolée au condenseur, et son piston est conduit par un bras monté sur la tige de piston inférieure du cylindre à vapeur correspondant.

P_f Pompe de circulation ou à eau froide. Cette pompe est disposée comme la pompe à air; elle est à double effet et à piston plongeur. Son piston est conduit par une tige spéciale du cylindre à vapeur correspondant. — Dans les nouvelles machines, la pompe de circulation est généralement du système centrifuge et a un moteur indépendant.

p Piston de pompe à air. Ce piston est un long cylindre en bronze, creux, mais fermé à ses deux extrémités. L'aspiration et le refoulement produits alternativement par ce piston, dans chacune des capacités de la pompe à air, résultent du déplacement du piston lui-même, et conséquemment du volume qu'il laisse libre ou qu'il prend dans chacune de ces capacités, par suite de son mouvement alternatif.

r Plaques de tête des tubes du condenseur. Ces plaques de tête sont en bronze; elles sont rapportées et boulonnées sur des collerettes d'attente intérieures venues de fonte avec le condenseur. Chaque plaque de tête est en deux parties, séparées dans le sens vertical par une forte nervure du condenseur, comme le montre la vue 2°. — D'autre part, les tubes sont maintenus sur les plaques de tête au moyen de presse-étoupe dont les chapeaux annulaires se taraudent sur les plaques elles-mêmes. De cette façon, les tubes peuvent se dilater et s'allonger librement quand leur température s'élève; ils glissent alors dans leurs presse-étoupe qui n'en restent pas moins étanches.

T Tiges de grand piston.

t Tige de piston de pompe à air. Cette tige est fixée à un bras monté sur la tige de piston inférieure du cylindre à vapeur correspondant.

U Traverse de grand piston.

XX, YY Lignes de coupe. — Dans la vue 1°, la partie de la coupe qui correspond à la pompe de circulation a été faite, pour plus de clarté, par le milieu des clapets de refoulement d'en abord.

1 Clapets d'aspiration de la pompe à air. Ces clapets sont en caoutchouc et circulaires, leur siége est vertical. Ils sont placés sur deux rangées superposées. Cette disposition offre des facilités pour l'extraction de l'air du condenseur, qui passe par les clapets de la rangée supérieure, tandis que ceux de la rangée inférieure sont presque toujours couverts d'eau.

2 Clapets de refoulement de la pompe à air. Ces clapets ont la même forme que les clapets 1; leur siége est horizontal.

3 Clapets d'aspiration de la pompe de circulation, également circulaires et en caoutchouc; leur siége est horizontal.

4 Clapets de refoulement de la pompe de circulation ; ils sont en caoutchouc et de forme circulaire, avec siége vertical.
5 Porte de visite du condenseur.
6 Porte de visite des clapets d'aspiration de la pompe à air.
7 Porte de visite des clapets de bâche.
8 Tube indicateur du niveau de l'eau dans la bâche à eau douce.
9 Tuyau d'applique en bronze, communiquant avec la bâche à eau douce, et sur lequel sont montées les armatures du tube indicateur 8.
10 Boîte à clapets de la pompe alimentaire. Cette boîte est accolée au condenseur, sur la face d'en abord.
11 Tuyau de communication de la pompe alimentaire avec la boîte à clapets de cette pompe
12 Conduit d'aspiration de la pompe alimentaire. Ce conduit communique avec la bâche à eau douce par un trou pratiqué dans la paroi de cette bâche, et juste à la hauteur des clapets.
13 Tuyau de refoulement de la pompe alimentaire.
14 Ressort du clapet de trop-plein de la pompe alimentaire.
15 Réservoir d'air de la pompe alimentaire.
16 Tuyau collecteur, amenant au condenseur l'eau provenant des purges des cylindres et de leurs enveloppes.
17 Tuyau d'évacuation du petit cheval au condenseur. Ce tuyau peut aussi amener au condenseur, pendant les arrêts, le trop-plein de vapeur aux chaudières, de manière à éviter les pertes d'eau douce. Le tuyau 17 communique avec le condenseur, par l'intermédiaire d'un robinet qui sert à l'isoler de cet organe.
18 Garniture en languettes de gaïac, formant une sorte de presse-étoupe dans lequel se meut le piston de pompe à air. Cette garniture est placée au milieu de la longueur du cylindre de la pompe à air, et partage la capacité totale de cette pompe en deux parties égales.
19 Robinet obturateur du tuyau de décharge accidentelle D_e.

Fonctionnement du condenseur à surface démonstratif. — Avant d'introduire la vapeur dans la machine, pour la purger et la balancer, il faut disposer le condenseur à surface pour qu'il puisse fonctionner dès que la machine sera mise en mouvement, et pour que ses tubes ne prennent pas une température trop élevée pendant l'échauffement de l'appareil moteur. On commence par s'assurer que le robinet *d* de prise d'eau à la cale de la pompe de circulation est bien fermé; on ouvre alors les robinets obturateurs placés sur les tuyaux A_r et D_r, puis le robinet d'air du tuyau I qui met en communication la partie supérieure de la chambre à eau avec l'atmosphère.

L'eau de la mer pénètre dans les capacités du condenseur qui lui sont réservées, et la chambre à eau se remplit complétement si le haut du condenseur ne dépasse pas le niveau de la mer. On ferme alors les robinets du tuyautage I. La pompe à air doit ensuite être amorcée ; à cet effet, on commence par ouvrir le robinet obturateur de la décharge accidentelle D_e, pour donner une issue à l'air, puis on ouvre d'une petite quantité le robinet réparateur K, et l'eau de la mer passe des coquilles dans le condenseur, de là dans le con-

duit D'_e, puis dans la pompe à air, et finalement dans la bâche à eau douce. On ferme le robinet K dès que l'eau paraît au tube indicateur 8 de niveau de la bâche. A ce moment, la pompe à air est pleine d'eau; la bâche n'en contient qu'une très-petite quantité, mais le niveau montera au premier coup de piston de la pompe à air, parce que la partie inférieure du conduit D'_e, qui est actuellement pleine d'eau, se videra en grande partie. En amorçant la pompe à air, on assure le fonctionnement de cette pompe dès que la machine est mise en mouvement, et ses clapets étant baignés par l'eau, ne courent pas le risque d'être brûlés par la vapeur. Grâce à l'eau introduite dans la bâche, les pompes alimentaires fonctionneront dès que la machine sera mise en marche.

Pendant qu'on échauffe la machine, on ouvre de temps à autre les purges des cylindres et celles de leurs chemises; le tuyau collecteur 16 amène l'eau de toutes ces purges au condenseur. Si ce dernier s'échauffe, on peut déterminer un petit courant de l'eau de circulation en faisant refouler le petit cheval dans la chambre à eau du condenseur, par le tuyau i'. Si, pour une raison quelconque, ce moyen devenait insuffisant pour empêcher l'échauffement du condenseur, on pourrait injecter directement une certaine quantité d'eau froide par le réparateur K.

Dès que la machine est mise en mouvement, les organes du condenseur suffisent à son fonctionnement. La pompe de circulation agissant, le courant de l'eau réfrigérante est établi à travers les tubes du condenseur, et ces tubes sont toujours maintenus à une température inférieure à celle de la bâche à eau douce. La vapeur qui évacue les cylindres pénètre dans le condenseur par le conduit E‴; elle se répand d'abord dans la capacité libre au-dessus des tubes, où elle augmente considérablement son volume en se détendant, ce qui fait diminuer sa pression et par suite la résistance qu'elle détermine dans le cylindre. Cette vapeur traverse ensuite successivement chacun des trois groupes de tubes et se condense au contact de ces tubes constamment refroidis par l'eau de circulation. Elle tombe à l'état de liquide dans le conduit D'_e, d'où elle est prise par la pompe à air et envoyée à la bâche B_a. La pompe P_e puise dans cette capacité et pourvoit à l'alimentation des chaudières.

Il résulte de l'ensemble de ces dispositions que c'est toujours la même eau qui est employée au fonctionnement de l'appareil moteur. Comme toutes les purges aboutissent au condenseur, il n'y a de

pertes d'eau d'alimentation que celles qui résultent des fuites extérieures de l'appareil moteur ou des fuites aux chaudières. Ces pertes sont remplacées par une quantité égale d'eau de la mer, introduite dans le condenseur par le réparateur K dont on règle convenablement l'ouverture quand le régime de marche est établi. Le réparateur K est ouvert plus ou moins, suivant le niveau de la bâche à eau douce indiqué au tube 8, et suivant l'état des niveaux aux chaudières. Si on ne consultait pas ces derniers, on mettrait souvent de l'eau en excès dans la bâche, et on perdrait de l'eau douce par le tuyau de décharge accidentelle.

Le vide s'établit et se maintient dans le condenseur à surface comme dans le condenseur ordinaire, par la liquéfaction de la vapeur et par l'action de la pompe à air, qui, ainsi que nous l'avons dit, est amorcée avant la mise en marche. On n'a pas l'habitude de purger le condenseur à surface et d'y établir le vide : cette opération n'est pas nécessaire, eu égard à la pression relativement élevée à laquelle fonctionnent les machines pourvues de condenseurs à surface. La purge du condenseur pourrait néanmoins être effectuée au besoin, et le vide pourrait être établi au moment de la mise en marche. Il suffirait, en effet, d'introduire directement la vapeur au condenseur par le tuyau *i* ; cette vapeur agirait comme dans les condenseurs ordinaires par mélange, et expulserait l'air dans la bâche à eau douce, à travers les clapets de la pompe à air, et de là dans l'atmosphère par le tuyau de décharge accidentelle D_1. Le vide s'établirait ensuite par la condensation de la vapeur, soit que cette condensation s'effectue lentement sous l'action réfrigérante des tubes, soit qu'on l'active par l'injection directe au moyen du réparateur K. Il ne faut pas perdre de vue que malgré la fermeture du registre, qui n'est jamais bien étanche, la manœuvre de la mise en train *Mazeline* est toujours dangereuse, quand le vide est établi au condenseur ; la machine peut partir avant que la mise en train soit à l'extrémité de sa course, et il peut en résulter des avaries matérielles, ou des blessures pour les hommes employés à la manœuvre. On ne doit donc établir le vide au condenseur lorsque cela est nécessaire, la machine ayant, par exemple, de la peine à partir, qu'après avoir placé la mise en train à bloc, pour le sens de la marche que l'on a en vue. On n'a pas besoin de prendre les mêmes précautions avec une mise en train à secteur.

Si l'on doit faire usage du bicarbonate de soude, cette substance

est d'abord délayée dans un seau d'eau que l'on présente ensuite sous le tuyau recourbé du robinet J, de manière que ce tuyau plonge jusqu'au fond. On ouvre alors ledit robinet J, et le liquide est aspiré dans la chambre à vapeur du condenseur. On ne commence à effectuer cette opération qu'au bout d'un certain temps de marche, 4 à 6 heures ; on la renouvelle ensuite une ou deux fois par quart. La quantité de bicarbonate de soude à employer dépend de l'abondance plus ou moins grande de graissage, nécessité par l'état des cylindres et des tiroirs. Dans les conditions ordinaires, il n'est pas nécessaire que le poids de bicarbonate de soude soit supérieur au poids du suif employé au graissage. L'emploi du bicarbonate de soude est remplacé depuis peu sur quelques bâtiments, par le dégraissage de l'eau d'alimentation au moyen d'un lait de chaux (n° 75_2).

Pendant les temps d'arrêt, on empêche le condenseur de s'échauffer, par l'un des deux moyens que nous avons indiqués comme pouvant être employés au moment du balancement de la machine. Mais le refoulement du petit cheval dans la chambre à eau doit être employé de préférence. Ajoutons que, dans un grand nombre d'appareils, les pompes de circulation sont indépendantes de l'appareil moteur et sont mues par une petite machine spéciale qu'on peut laisser en marche pendant le temps d'arrêt, en réduisant toutefois son allure.

Quand la machine a cessé de fonctionner, on ferme tous les robinets de communication du condenseur avec l'extérieur, puis on vide la chambre à eau, les tuyaux ou conduits A_r, D_r et D'_r; enfin, la bâche à eau douce et la pompe à air. Cette vidange s'effectue ordinairement au moyen de petits tuyaux disposés à cet effet. Lorsque la chambre à eau est vide, on ouvre les robinets placés sur les tuyaux i, on introduit directement la vapeur au condenseur, et comme les tubes ne sont plus pleins d'eau froide, ces tubes s'échauffent bientôt, et le suif qui s'était figé à leur contact pendant la marche se fond et tombe dans le bas du condenseur. Cette opération n'exige pas que la pression de la vapeur au condenseur dépasse une atmosphère, car la température qui correspond à cette dernière pression est plus que suffisante pour fondre le suif. Ce qui est important, c'est de maintenir cette température pendant un temps suffisant pour que tout le suif fondu descende au fond du condenseur, d'où on l'extrait par les portes de visite. Actuellement, l'opéra-

tion précédente est presque sans objet, car le graissage des tiroirs et des cylindres ne se fait plus qu'à l'huile.

N° 48₂ Description des principaux types de condenseurs à surface actuellement en usage. — Les condenseurs à surface peuvent être divisés en deux catégories : ceux qui admettent la vapeur dans les tubes et ceux qui admettent la vapeur autour des tubes. Dans le premier cas, les tubes sont verticaux ou légèrement inclinés et la vapeur les traverse dans un seul parcours, ou bien les tubes sont horizontaux et la vapeur les traverse en deux parcours. L'eau de circulation ne fait généralement qu'un seul trajet entre les tubes. Dans le second cas, les tubes sont horizontaux et généralement placés en quinconce; la vapeur serpente autour des tubes et parcourt le condenseur en un seul trajet. Les tubes sont partagés en deux ou trois, et quelquefois quatre groupes que l'eau réfrigérante parcourt successivement.

Les condenseurs qui admettent la vapeur dans les tubes sont très-peu employés, parce que, s'ils présentent l'avantage de permettre de nettoyer les tubes sans les démonter, ils ont l'inconvénient d'exiger une grande surface réfrigérante et un volume considérable d'eau de circulation. Cela résulte, d'une part, du chemin direct que fait la vapeur dans les tubes, et, d'autre part, du seul et unique parcours que fait l'eau réfrigérante autour de ces mêmes tubes; deux circonstances qui exigent, pour la même température de condensation, que les tubes du condenseur soient maintenus à une température plus basse. — Dans les condenseurs qui admettent la vapeur autour des tubes, les multiples parcours de l'eau réfrigérante augmentent considérablement le travail de la pompe de circulation (n° 49₂); mais l'étendue de la surface condensante peut être notablement réduite, parce que l'eau se renouvelle mieux dans toutes les parties de la chambre à eau du condenseur; d'autre part, le poids de l'eau de circulation est moindre, parce que cette eau abandonne le condenseur à une température plus élevée.

Nous allons donner une description sommaire des principaux types de condenseurs à surface actuellement en usage.

Condenseurs à surface de Maudslay, vapeur dans les tubes. — Les condenseurs à surface, appliqués par *Maudslay* à bon nombre de machines horizontales à trois cylindres indépendants, sont
Sect. 3, Pl. IV. représentés en *section* 3, *pl.* IV. L'appareil de condensation de ces machines est divisé en deux corps ayant chacun l'aspect d'une énorme caisse rectangulaire inclinée. Cette caisse est terminée, en haut et en bas, par une calotte sphérique; celle du haut communique avec le tuyau d'évacuation du cylindre extrême correspondant; celle du bas communique avec l'aspiration de la pompe à air. L'évacuation du cylindre milieu se fait dans les tuyaux d'évacuation des cylindres extrêmes et, par suite, dans les deux condenseurs à la fois, qui se trouvent ainsi en communication.

Les tubes sont en bronze et se fixent sur des plaques de tête, également

en bronze et rapportées, au moyen de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires sont taraudés dans ces plaques. — L'eau réfrigérante qui entoure les tubes est refoulée par une pompe de circulation à double effet, mue par la machine, et traverse le condenseur obliquement.

La calotte qui termine le condenseur, du côté de l'aspiration de la pompe à air, est munie d'une porte de visite qui permet de nettoyer le fond du condenseur. La disposition oblique des tubes facilite l'écoulement de la vapeur condensée. Les tubes peuvent être facilement débarrassés du suif qui se fige à leur contact, au moyen de grattes et de brosses qu'on passe dans leur intérieur, après avoir démonté la calotte du fond. Mais c'est là un avantage qui compense à peine l'inconvénient que présente la circulation de l'eau. Il suffit, en effet, de jeter un coup d'œil sur la *fig.* 2 de la *section* 3, *pl.* IV pour reconnaître qu'il y a au moins un tiers de la surface tubulaire, vers l'angle supérieur, qui doit être baignée par de l'eau qui ne se renouvelle pas, et qui, par suite, devient au bout de peu de temps, à cause de l'échauffement de cette eau, complétement inutile.

Condenseur à surface des forges et chantiers de la Méditerranée, vapeur dans les tubes. — Le type de condenseur à surface appliqué par l'usine des *forges et chantiers de la Méditerranée*, sur un grand nombre de machines Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte, est représenté en *section* 3, *pl.* II. Il n'y a naturellement qu'un seul condenseur qui a la forme d'un parallélipipède rectangle, terminé à sa partie supérieure par un demi-cylindre. Ce condenseur est placé à tribord et fait partie des bâtis qui supportent les cylindres à vapeur. Les tubes, formant deux groupes, sont horizontaux et parallèles à l'arbre de couche. Le conduit d'évacuation E' du cylindre détendeur, débouche dans le sommet de la partie arrière de la chambre à vapeur; le fluide à condenser traverse le groupe supérieur des tubes, passe ensuite dans le groupe inférieur et débouche sur l'arrière, dans la partie basse de la chambre à vapeur qu'un canal met en communication avec la pompe à air. Cette dernière est aspirante élévatoire. L'eau douce est recueillie dans une bâche supplémentaire B'_a, où puisent deux pompes alimentaires. Le tuyau de décharge qui aboutit à cette bâche se prolonge au-dessus, comme on le voit sur la *fig.* 1, et forme ainsi une décharge accidentelle pour le dégagement de l'air et le trop-plein de la bâche. Ce tuyau de décharge accidentelle, qui débouche un peu au-dessus du niveau de la mer, est d'ailleurs muni d'un clapet de retenue destiné à empêcher l'eau salée de pénétrer dans la bâche à eau douce, ce qui pourrait avoir lieu dans les mouvements de roulis.

Sect. 3 Pl. II.

La pompe de circulation est du système ordinaire à double effet et agit par refoulement. Elle est conduite par la machine elle-même. L'eau réfrigérante pénètre dans la chambre à eau, vers le milieu de la longueur du condenseur; elle contourne les tubes et s'échappe par deux tuyaux de décharge D_f placés au sommet de ce condenseur, chacun d'eux étant vers une des extrémités de ce faisceau tubulaire. Cette disposition a pour but



de répartir, aussi exactement que possible, l'eau réfrigérante, et d'assurer son renouvellement dans toute l'étendue de la chambre à eau. Ajoutons que la partie de cette chambre à eau qui est formée par les bâtis, est partagée en deux compartiments par une cloison longitudiuale; les tuyaux de décharge prennent naissance dans la partie supérieure du compartiment d'en abord, et le compartiment d'en dedans 6 sert de réservoir d'air pour régulariser l'écoulement de l'eau réfrigérante.

Toutes les purges des cylindres et de leurs chemises aboutissent au condenseur. Ce dernier peut, d'ailleurs, être purgé directement au moyen d'un tuyau qui lui amène la vapeur des chaudières. — Le nettoyage intérieur des tubes du condenseur s'effectue avec la plus grande facilité en démontant les portes avant et arrière de cet organe.

Condenseurs à surface de l'usine de la Ciotat, vapeur dans les tubes. — Le genre de condenseur appliqué sur les machines Woolf, à pilon à trois cylindres, construites par l'usine de la *Ciotat*, pour divers paquebots des *Messageries maritimes*, est représenté en *sect.* 4, *pl.* II. Ce condenseur ne forme qu'un seul corps accolé au cylindre admetteur. Les tubes sont verticaux et divisés en deux groupes, séparés par une cloison qui fait que l'ensemble forme deux condenseurs distincts, un pour chaque cylindre détendeur. Chacun de ces condenseurs est surmonté d'une coquille dans laquelle débouche le conduit d'évacuation E' du cylindre correspondant. Cette coquille augmente la chambre à vapeur du condenseur en même temps qu'elle permet à la vapeur de se répartir convenablement entre tous les tubes. Les produits de la condensation tombent dans les conduits D'_e où aspirent les pompes à air à simple effet. — Pour chaque groupe de tubes, l'eau de circulation est refoulée par une pompe centrifuge P_f, ayant un double conduit d'aspiration A_f. Par cette disposition, la vitesse avec laquelle l'eau arrive au centre de la pompe est considérablement réduite. Il en est de même de la perte de travail due à l'annulation de la force vive que possède l'eau, au moment où elle doit changer de direction pour être projetée dans le condenseur. Les deux pompes de circulation sont actionnées par une même petite machine *b'* à un seul cylindre à pilon, accolée au condenseur et dont l'arbre est le prolongement des axes mêmes de ces pompes. Afin que l'eau réfrigérante se renouvelle également bien dans toutes les parties de la chambre à eau, la cloison extérieure de cette chambre se prolonge dans le réservoir d'air 6, où elle est percée d'un certain nombre de fenêtres par chacune desquelles s'établit un courant. La partie inférieure du réservoir d'air 6 communique d'ailleurs avec le tuyau de décharge D_f.

Sect. 4, Pl. II.

Pour la même quantité d'eau à refouler, la disposition dont il vient d'être question augmenterait notablement le travail résistant de la pompe de circulation; mais l'efficacité du condenseur étant beaucoup plus grande, le poids de l'eau réfrigérante qui traverse le condenseur peut être diminué.

Condenseur à surface de Humphrys, vapeur dans les tubes. — Le genre de condenseur qui a été appliqué par *Humphrys* sur

toutes les machines Woolf à pilon du type *Aréthuse*, est représenté en *sect.* 2, *pl.* II. Il y a deux condenseurs, un pour chaque cylindre détendeur. Chaque corps est partagé en deux groupes de tubes verticaux, placés dans des compartiments séparés et présentant la forme de parallélipipèdes rectangles dont on a enlevé un quart pour loger la pompe à air. Cee deux groupes de tubes sont surmontés par une pièce creuse en fonte, dans laquelle débouche le tuyau d'évacuation du cylindre correspondant, et qui donne un volume considérable à la chambre à vapeur. Chaque condenseur est muni de deux pompes à air, une pour chaque groupe de tubes. Ces pompes à air aspirent dans les capacités I, qui demeurent, d'ailleurs, toujours pleines d'eau, parce que les clapets d'aspiration des pompes sont placés à leur partie supérieure. Sect. 2. Pl. II.

L'eau de circulation, refoulée par une pompe centrifuge mue par un moteur spécial, pénètre dans la partie inférieure du groupe des tubes de tribord, et passe dans celui de bâbord en suivant le conduit horizontal D'_r qui met en communication la partie inférieure de ces deux groupes. Les tuyaux de décharge D_r, un pour chaque groupe de tubes, sont placés à la partie supérieure, et la somme de leurs sections, à la sortie du condenseur, est un peu inférieure à celle du tuyau d'arrivée de l'eau réfrigérante. Grâce à cette disposition et au peu d'étendue horizontale de chaque groupe de tubes, la circulation de l'eau réfrigérante se fait assez bien; néanmoins, cette circulation est encore faible dans l'angle que forme chaque compartiment par le travers des pompes à air. — Le nettoyage intérieur des tubes s'effectue par les caisses rectangulaires I, placées en dessous, et dans lesquelles on pénètre, soit par les trous d'homme 18, soit par les portes 13. C'est encore par ces caisses qu'on démonte les tubes du condenseur, lorsqu'on veut opérer un nettoyage à fond.

Condenseur à surface d'Indret, eau dans les tubes. — Le type de condenseur à surface, généralement appliqué par l'usine d'*Indret* aux machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres, est représenté en *sect.* 1, *pl.* IV. Il y a deux condenseurs, un pour chaque cylindre détendeur, placés aux extrémités avant et arrière de la machine, de manière à laisser complétement à découvert les traverses des pistons moteurs. — Ce type de condenseur n'est autre que celui que nous avons décrit comme condenseur démonstratif, et n'en diffère que par quelques dispositions de détail. — Les tuyaux d'évacuation E' des cylindres détendeurs sont en communication par le tuyau E'', dont les prolongements sur l'avant et sur l'arrière des tuyaux E', sont coudés horizontalement à angle droit, pour amener la vapeur vers le sommet du groupe supérieur des tubes. Sect. 1, Pl. IV.

Sur les derniers appareils de 1.000 chevaux, le nombre de groupes de tubes est de quatre; les tubes sont placés parallèlement aux axes des cylindres. — Les tuyaux de décharge D_r de l'eau de circulation, au lieu de se trouver en dedans, sont placés à l'extérieur, sur l'avant et sur l'arrière des condenseurs. Les conduits d'évacuation des cylindres détendeurs ne sont plus en communication, chacun d'eux débouche dans une coquille

semblable à D_f, *fig.* 2, *sect.* 1, *pl.* IV, mais un peu plus élevée et qui fait partie de la chambre à vapeur du condenseur. — Enfin, sur le dernier type, celui du *Colbert*, les pompes de circulation sont à action centrifuge et sont mues par une machine spéciale. Les pompes à air sont toujours du système à piston plongeur et à double effet.

Autre type de condenseur à surface d'Indret, eau dans les tubes. — L'usine d'*Indret* a aussi construit, pour quelques appareils de 450^{ch} de 300^{km}, un condenseur à surface en un seul corps, qui est représenté en *sect.* 2, *pl.* IV. Les machines sont du système Woolf, à bielle en retour à trois cylindres horizontaux. Les conduits d'évacuation des deux cylindres détendeurs se réunissent en un seul pour déboucher dans le condenseur. Ce dernier, qui a la forme d'un parallélipipède rectangle, est placé en face du cylindre admetteur, au-dessus de la traverse de piston de ce cylindre. Ses faces planes sont consolidées par une série de nervures, les unes intérieures, les autres extérieures, formant une espèce de quadrillage. — Les tubes sont horizontaux et parallèles à l'arbre de couche; leur diamètre est de 20 millimètres, leur longueur de 2 mètres; ils sont confectionnés en cuivre rouge et étamés. Sur quelques appareils, le condenseur est partagé en deux capacités par une cloison médiane placée dans le plan vertical de l'axe du cylindre admetteur, et qui se trouve percée comme les plaques de tête pour livrer passage aux tubes. Cette cloison a pour effet de consolider le condenseur et de supporter en partie les tubes, pour empêcher leurs joints de fatiguer sous l'influence du poids de l'eau que ces tubes contiennent. Les deux capacités formées par cette cloison sont, d'ailleurs, en communication au-dessus et au-dessous des tubes et constituent, en fait, un seul condenseur. Le vide est maintenu par deux pompes à air à piston plongeur et à double effet, qui aspirent dans le même conduit D'_e, où se réunissent tous les produits de la condensation. Il y a lieu de noter que la pompe à air de l'avant fonctionne généralement assez mal quand la différence de tirant d'eau est un peu forte et qu'il lui arrive même de se désamorcer quand ses clapets d'aspiration sont fatigués. Par contre, dans les mêmes circonstances, la pompe à air de l'arrière est engorgée par l'eau et devient insuffisante pour maintenir un bon vide. On a remédié à cet inconvénient en établissant dans le conduit D'_e, une tôle formant cloison qui s'élève jusqu'à la hauteur de la rangée supérieure des clapets d'aspiration. De cette façon, aucune des deux pompes à air ne peut être désamorcée.

Sect. 2, Pl. IV.

Les tubes sont partagés en trois groupes, que l'eau réfrigérante parcourt successivement et en sens inverses, grâce aux coquilles formées par les doubles fonds des portes du condenseur. — La pompe de circulation, qui est à piston plongeur et à double effet, agit par aspiration au lieu d'agir par refoulement. De plus, les courants de vapeur et d'eau froide marchent dans le même sens. L'eau réfrigérante s'introduit par le conduit A_f, passe dans le double fond N de la porte avant et débouche sur le front du groupe supérieur des tubes qu'elle parcourt de l'avant à l'arrière. Les coquilles N' obligent ensuite cette eau à parcourir successivement les deux

autres groupes de tubes. En sortant des tubes inférieurs, l'eau réfrigérante tombe dans le conduit D'_f, où l'action de la pompe de circulation entretient toujours un vide capable de déterminer le mouvement de l'eau à travers les tubes du condenseur. Enfin, l'eau réfrigérante est expulsée par le conduit D_f. Le double fond 8, formé par la porte arrière du condenseur, sert de réservoir d'air pour régulariser l'écoulement de cette eau; ce double fond est muni d'une soupape de sûreté 9, destinée à prévenir tout accident.

Avec ce mode de circulation de l'eau, les coups de bélier sont évités et les tubes du condenseur fatiguent beaucoup moins, d'autant plus que l'eau arrive naturellement dans le condenseur. Toutefois, comme les bâtiments sur lesquels sont montées les machines pourvues de ce genre de condenseur sont d'un faible tirant d'eau, le sommet du condenseur est très-souvent au-dessus du niveau de la mer. Dès lors, il tend à se former des chambres d'air dans les parties supérieures des coquilles, et les tubes les plus élevés ne sont plus suffisamment refroidis. Pour faire disparaître cet inconvénient, on a disposé le tuyautage I, qui permet de mettre en communication le condenseur et la partie supérieure de la chambre à eau, de manière à pouvoir purger de temps à autre cette dernière de l'air qu'elle contient, et, par suite, à la remplir complétement d'eau.

Ajoutons que le refoulement de la pompe du petit cheval est munie d'un tuyau *i'* qui débouche dans le double fond N; cette disposition permet de maintenir la chambre à eau du condenseur constamment pleine pendant les arrêts de la machine; on peut même déterminer dans cette chambre à eau une circulation suffisante pour empêcher le condenseur de s'échauffer; il suffit d'ouvrir le robinet du tuyau *l*, pendant que le petit cheval refoule au condenseur, et ce tuyau laisse tomber l'eau à la cale.

Condenseur à surface des forges et chantiers de la Méditerranée, eau dans les tubes. — Les condenseurs à surface adoptés par les *forges et chantiers de la Méditerranée* pour les machines puissantes, sont toujours fractionnés en autant de corps qu'il y a de cylindres détendeurs. Le type le plus important de ces condenseurs est celui qui figure sur les machines du croiseur le *Tourville*. L'appareil moteur se compose de deux groupes de machine Woolf, formés chacun de deux paires de cylindres horizontaux bout à bout; quatre manivelles actionnent un arbre de couche unique. Les condenseurs du même groupe de machines sont situés aux extrémités de ce groupe et laissent les traverses de piston à découvert.

Chaque condenseur est formé de deux groupes de tubes; le groupe inférieur est logé en partie dans la plaque de fonte qui supporte les glissières des traverses de pistons à vapeur et s'élève jusqu'un peu au-dessus des tiges supérieures de ces pistons. Le deuxième groupe est dans une caisse ayant la forme d'un parallélipipède rectangle et dont les dimensions en hauteur et en largeur sont plus grandes que celles du compartiment qui contient le groupe inférieur. Les tubes sont horizontaux dans le sens perpendiculaire à l'arbre de couche. Le conduit d'évacuation de chaque

cylindre détendeur débouche au sommet du condenseur correspondant. La pompe à air de chaque condenseur est à piston plongeur et à double effet; elle est placée horizontalement en dessous de la glissière. La tige de piston de cette pompe est conduite par la tige de piston inférieure du cylindre détendeur, à l'aide d'un bras attenant à cette dernière tige. La bâche à eau douce, unique pour les deux condenseurs, est placée entre les deux traverses. Elle est munie d'un tuyau de décharge accidentelle. Pour chaque condenseur, l'eau de circulation est refoulée dans les tubes par une pompe centrifuge mue par un moteur spécial. Les deux pompes du même groupe de machines sont actionnées par le même moteur. L'eau refoulée arrive d'abord dans le groupe supérieur des tubes; elle descend ensuite dans le groupe inférieur, d'où elle s'écoule à la mer. Par suite de cette disposition, la vapeur et l'eau réfrigérante marchent dans le même sens. — Une soupape de sûreté est placée sur une des coquilles de chaque condenseur. Il existe en outre, pour chaque condenseur, une injection directe qui sert à réparer les pertes d'eau d'alimentation.

Ajoutons que les pompes de circulation sont munies d'une prise d'eau à la cale, de sorte qu'on peut les utiliser en cas de voie d'eau.

Autre type de condenseur à surface des forges et chantiers de la Méditerranée, eau dans les tubes. — Les machines Woolf à trois cylindres montées sur le *Seignelay*, n'ont qu'un seul condenseur placé en face du cylindre admetteur, au-dessus de la traverse de ce cylindre. Les tubes sont horizontaux et parallèles à l'arbre de couche; ils sont partagés en deux groupes que l'eau de circulation parcourt successivement en sens inverses. — Les deux conduits d'évacuation des cylindres détendeurs se réunissent en un seul qui débouche au sommet du condenseur. La pompe à air, du système à piston plongeur et à double effet, est placée un peu sur l'avant et au-dessous de la glissière du cylindre admetteur; son piston est conduit par une tige fixée à un bras de la prolonge inférieure de la tige de piston de ce cylindre. La bâche à eau douce, où puisent les pompes alimentaires, est placée tout à fait sur l'avant, en face du cylindre détendeur. — La pompe de circulation, du système à piston plongeur et à double effet, est placée sur l'arrière du condenseur; la tige de son piston est conduite par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur arrière. Cette pompe agit par refoulement à travers les tubes du condenseur. L'eau débouche par l'arrière, sur le front du groupe inférieur, parcourt ce groupe de l'arrière à l'avant, remonte sur le front du groupe supérieur, et parcourt ce deuxième groupe de l'avant à l'arrière. Le tuyau de décharge se raccorde sur la partie en abord de la coquille arrière-haut. Toutes les coquilles sont formées par le massif du condenseur lui-même; les portes, en quatre parties distinctes, une par coquille, forment intérieurement des coquilles supplémentaires destinées à servir de réservoirs d'air. — Les plaques de tête, en quatre parties, deux pour chaque groupe de tubes, sont en bronze et rapportées; elles sont consolidées par des entretoises. Les tubes sont joints aux plaques de tête au moyen de presse-étoupe; la longueur de ces tubes est de 2^m et leur diamètre de 20^{mm}.

Condenseur à surface de Caird, eau dans les tubes. — Le type de condenseur, appliqué par *Caird de Greenock*, sur les machines d'un grand nombre de bâtiments de commerce, est représenté en *sect.* 1, *pl.* I. L'appareil moteur est une machine ordinaire, à pilon à deux cylindres. Un condenseur unique est placé à tribord entre les deux cylindres, et comporte deux groupes de tubes horizontaux perpendiculaires au plan des axes des cylindres. Les conduits d'évacuation E′ débouchent côte à côte dans la partie supérieure du condenseur, au-dessus des tubes. Deux pompes à air aspirantes élévatoires desservent le condenseur; elles sont placées l'une sur l'avant, l'autre sur l'arrière, et leurs pistons sont conduits par des balanciers que mènent les traverses des pistons moteurs. A chacune d'elles correspond une bâche à eau douce, munie d'une décharge accidentelle qui débouche dans le tuyau de décharge de la pompe de circulation; un clapet contre-tenu par un ressort prévient tout retour de l'eau dans les bâches. — La pompe de circulation P_f, du système ordinaire et à double effet, est conduite directement par l'arbre de couche au moyen d'un cadre et d'un bouton excentré au bout avant de l'arbre, à la manière de petits chevaux. Elle agit par refoulement à travers les tubes du condenseur. L'eau réfrigérante pénètre d'abord dans le groupe inférieur des tubes, par le côté d'en abord, et passe ensuite dans le groupe supérieur pour être renvoyée à la mer par deux tuyaux de décharge D_f situés aux deux extrémités de la largeur du condenseur, et qui se réunissent ensuite en un seul D'_f pour déboucher à la mer. Les portes du condenseur ont des doubles fonds qui servent de réservoirs d'air pour régulariser l'écoulement de l'eau et prévenir les coups de bélier. Sect. 1. Pl. 1.

Condenseur à surface du Creusot, eau dans les tubes. — Le type le plus remarquable des condenseurs à surface construits par le *Creusot*, est celui des condenseurs appliqués sur les machines du vaisseau cuirassé le *Redoutable*. L'appareil moteur est une machine Woolf, horizontale à bielle en retour, à trois paires de cylindres bout à bout. Chaque paire de cylindres possède un condenseur spécial placé de l'autre côté de l'arbre de couche et sur l'arrière, de manière à laisser la traverse du piston à découvert. Les condenseurs ont la forme de parallélipipèdes rectangles; ils sont très-élevés et contiennent trois groupes de tubes horizontaux dont la direction est perpendiculaire à l'arbre de couche. Le tuyau d'évacuation débouche dans la chambre à vapeur du condenseur à l'angle supérieur avant. La pompe à air, à piston plongeur et à double effet, est menée par un bras de la tige de piston inférieure du cylindre détendeur.

La bâche à eau douce est située de l'autre côté de la grande traverse, et possède une décharge accidentelle. L'eau de circulation est refoulée dans les tubes de chaque condenseur par une pompe rotative. Les axes des trois pompes sont commandés par une petite machine à deux cylindres pilon, placée sur l'avant des pompes. Le tout est en abord derrière les condenseurs. Chaque pompe de circulation possède une prise d'eau particulière à la mer, et une aspiration à la cale. Après avoir traversé les tubes des condenseurs, l'eau réfrigérante se rend dans un tuyau de refoulement gé-

néral qui débouche à la mer, sur la partie bâbord arrière de l'appareil moteur.

Il importe de noter que les coquilles qui déterminent la circulation de l'eau dans les trois groupes de chaque condenseur ne sont pas formées par les portes de cet organe, mais bien par le condenseur lui-même. Au front de chaque groupe de tubes correspond une porte de visite d'un poids relativement faible, ce qui facilite beaucoup le démontage de cette porte et par suite le nettoyage des tubes.

Autre type de condenseur à surface du Creusot, eau dans les tubes. — Un autre type de condenseur à surface construit par le *Creusot*, se rencontre sur les avisos à roues *Antilope* et *Pétrel*, et sur le paquebot de la Compagnie transatlantique *le Saint-Laurent*. — L'appareil moteur du *Pétrel* se compose d'une paire de cylindres Woolf inclinés à bielle directe, le condenseur, qui ressemble extérieurement à celui de la *section* 3, *pl.* II, contient deux groupes de tubes horizontaux, parallèles à l'abre de couche. Le tuyau d'évacuation débouche au milieu de la partie supérieure du condenseur, et les produits de la condensation sont enlevés par une pompe à air à simple effet et à fourreau, placée en abord, à côté du cylindre admetteur. — L'eau de circulation est refoulée à travers les tubes du condenseur par une pompe centrifuge mue par une petite machine horizontale à un seul cylindre, au moyen d'une transmission par courroie. Cette eau pénètre dans le condenseur par le groupe inférieur des tubes, et en sort par le groupe supérieur. La pompe de circulation est munie d'une prise d'eau à la cale.

L'appareil du *Saint-Laurent* se compose de deux paires de machines Woolf, à pilon à cylindres bout à bout. Un seul condenseur reçoit la vapeur d'évacuation des deux cylindres détendeurs; il est placé à bâbord, à côté des bâtis qui supportent les cylindres. Ce condenseur contient deux groupes de tubes horizontaux. Les pompes à air sont verticales, et les pompes de circulation sont à action centrifuge, et ont un moteur spécial.

Condenseur à surface de Maudslay, eau dans les tubes. — Le type du condenseur appliqué par *Maudslay* sur bon nombre de machines Woolff, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout, et notamment sur les paquebots transatlantiques *France* et *Amérique*, est représenté en *fig.* 1, *pl.* V. Un condenseur unique, pour les deux cylindres détendeurs, est placé à bâbord contre les bâtis qui supportent les cylindres. Les tubes sont horizontaux et perpendiculaires au plan longitudinal du navire; ils sont partagés en deux groupes que l'eau réfrigérante parcourt successivement et en sens inverses. — Les conduits d'évacuation des cylindres détendeurs débouchent au sommet du condenseur, l'un sur l'avant, l'autre sur l'arrière. Les produits de la condensation se réunissent dans un canal central placé au-dessous du groupe inférieur des tubes, et qui se partage ensuite en deux branches, formant plan incliné, pour aboutir aux clapets d'aspiration de deux pompes à air aspirantes élévatoires placées en face des cylindres. — Les pistons de ces pompes sont conduits par des balan-

Fig. 1, Pl. V.

ciers actionnés par les traverses de pistons des cylindres moteurs. Deux bâches à eau douce sont formées par les bâtis de bâbord. Ces bâches peuvent être mises en communication au moyen d'un tuyautage, avec robinet obturateur placé à leur partie inférieure. Chacune de ces bâches est munie d'un tuyau de décharge accidentelle. — L'eau réfrigérante est refoulée à travers les tubes par deux pompes centrifuges placées en abord et mues par une petite machine à vapeur unique à pilon, évacuant dans le condenseur. Pour chacune de ces pompes, le tuyau de refoulement débouche à l'angle correspondant de la coquille inférieure, en abord du condenseur; l'eau traverse le premier groupe de tubes de bâbord à tribord, revient de tribord à bâbord pour traverser le groupe supérieur, et s'écoule à la mer par un tuyau de décharge unique placé au milieu du condenseur. — Il n'existe pas de réservoir d'air dans les coquilles; cela tient à l'action continue du refoulement des pompes de circulation.

Condenseur à surface de Perkins, eau dans les tubes. — Le système de condenseur *Perkins*, comporte des tubes verticaux de 30mm de diamètre extérieur et de 4mm d'épaisseur. Ces tubes sont soudés et fermés à l'extrémité supérieure; ils sont solidement rivés à une plaque de tête fixée à la partie inférieure. D'autres tubes, ouverts aux deux bouts, sont placés concentriquement dans les premiers, et sont rivés à leur tour sur une deuxième plaque inférieure. L'eau de circulation arrivant par la base du condenseur, traverse les tubes intérieurs de bout en bout, et revient par la partie annulaire entre les tubes concentriques, pour se dégager ensuite entre les deux plaques de tête. La vapeur entoure les tubes extérieurs. En résumé, c'est le principe de circulation des tubes *Field*, appliqué au condenseur. Cette disposition permet d'utiliser aussi complétement que possible l'eau réfrigérante.

N° 48_3 Condenseur à surface avec pompe à air faisant en même temps fonction de pompe de circulation : système américain et système français. — L'application de la condensation par surface à une machine qui fonctionnait précédemment avec la condensation par mélange, nécessite l'adjonction d'une pompe de circulation. Mais si l'on considère que le volume primitif de la pompe à air est maintenant trop grand, eu égard au nouveau mode de condensation, puisque la quantité d'eau à extraire du condenseur est insignifiante, on aperçoit la possibilité d'utiliser cette pompe à air comme pompe de circulation. L'essai en a été fait avec le système dit *américain*, appliqué sur l'aviso *la Mouette* (voir n° 137_1 et *fig.* 8, *pl.* XIV du *Gd Traité*).

Le condenseur à surface de *la Mouette* comportait un seul groupe de tubes horizontaux ayant la vapeur à l'intérieur. La chambre à eau et la chambre à vapeur pouvaient être mises en communication par le bas et par le haut; mais, en fonctionnement normal, cette dernière communication était seule ouverte et d'une quantité relativement faible. La pompe à air aspirante élévatoire était en communication avec la chambre à eau froide et y déterminait un vide qui produisait une aspiration correspondante dans la chambre à vapeur, par l'intermédiaire de la communication supérieure

de ces deux chambres. Hâtons-nous d'ajouter que la chambre à eau n'était jamais pleine et que l'eau réfrigérante était distribuée par un organe d'injection directe, muni d'un régulateur qui l'éparpillait sur les tubes. Cette eau se ramassait au fond du condenseur, dans le compartiment extérieur des tubes, d'où elle était puisée par la pompe à air. L'eau provenant de la vapeur condensée était prise directement par la pompe alimentaire, dans le bas de la chambre à vapeur du condenseur. Le vide était maintenu dans le condenseur par l'aspiration que la pompe à air produisait dans la chambre à eau froide. — Par la disposition dont nous venons de parler, les tubes n'étaient soumis à aucune pression sensible, et on pouvait, par suite, les faire aussi minces que l'on voulait pour augmenter leur conductibilité et réduire le volume de l'eau réfrigérante. Il suffisait qu'ils pussent supporter leur poids. Avec ce système on a obtenu des vides moyens de 62^{cm} dans la chambre à eau, de 57^{cm} dans la chambre à vapeur et de 52^{cm} dans le cylindre, ce qui constitue une perte de vide de 5^{cm} sur le cas où la pompe à air aurait aspiré directement dans la chambre à vapeur. Cette perte représentait une puissance suffisante pour assurer le fonctionnement d'une pompe de circulation indépendante de la pompe à air. Ajoutons que la différence de 5^{cm} de pression qui existait entre la chambre à vapeur et la chambre à eau froide, déterminait l'introduction dans cette dernière d'une certaine quantité de vapeur qui augmentait les pertes d'eau d'alimentation. Par ailleurs, le fonctionnement de la pompe alimentaire était influencé par la vapeur qui se dégageait de l'eau douce aspirée au condenseur, et par la position de cette pompe que l'on n'avait pu placer assez bas par rapport au niveau de l'eau dans le condenseur. Cet état de choses obligeait à maintenir constante l'introduction d'une certaine quantité d'eau de la bâche dans le compartiment d'aspiration de la pompe alimentaire, tant pour condenser la vapeur qui se dégageait de l'eau que pour réparer les pertes. — Le système qui nous occupe n'a pas été reproduit.

Avec une pompe à air à double effet un des bouts de la pompe pourrait être conservé comme pompe à air et l'autre bout employé à la circulation de l'eau réfrigérante; mais il existerait alors des différences notables de pression d'une face à l'autre du piston pendant toute la durée de la course; et, malgré les garnitures, le vide au condenseur en serait affecté. Le mieux est que la pompe à air remplisse simultanément les deux fonctions, l'eau de circulation étant amenée dans le compartiment d'aspiration de cette pompe, qui fait partie de la chambre à vapeur du condenseur. C'est la disposition appliquée par l'usine d'*Indret* sur les machines horizontales à bielle en retour à trois cylindres des avisos *le Hugon* et *le Beautemps-Beaupré*, et, plus tard, sur celle du cuirassé *le Friedland*. Cette disposition est représentée par la *fig.* 26, *pl.* V; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Cette description étant bien comprise, nous allons nous rendre compte du mode de fonctionnement de l'appareil de condensation qui nous occupe.

Fig. 26, Pl. V.

Tout d'abord, la liquéfaction de la vapeur s'opère, comme dans tous les

condenseurs à surface, par son contact avec des tubes constamment refroidis; la vapeur entoure les tubes et l'eau réfrigérante circule à leur intérieur. L'eau douce provenant de la condensation ne se rend pas dans le compartiment d'aspiration de la pompe à air, elle reste dans la partie inférieure de la chambre à vapeur du condenseur, qui est disposée pour former la bâche à eau douce. La pompe alimentaire aspire donc directement au condenseur et, par suite, dans une capacité où la pression est très-faible, en même temps que la température y est quelquefois assez élevée, deux circonstances très-défavorables au bon fonctionnement de cette pompe. On remarquera que, pour éviter autant que possible les conséquences de l'inconvénient que nous venons de signaler, la pompe alimentaire est placée en contre-bas de la bâche à eau douce. Il en résulte que l'eau passe d'elle-même, et par la seule différence des niveaux, du condenseur dans le compartiment d'aspiration de cette pompe. Par ailleurs, comme l'eau aspirée est presque complétement privée d'air, le fonctionnement de la pompe alimentaire n'est influencé, quand l'eau d'alimentation n'est pas à une température trop élevée, que par la résistance propre du clapet d'aspiration ou par les fuites qui peuvent se produire, soit au presse-étoupe de la tige de piston, soit au clapet de refoulement. Mais quand l'eau de la bâche atteint une température de 45 à 50°, il se dégage alors de cette eau, à chaque aspiration de la pompe alimentaire, une certaine quantité de vapeur qui gêne considérablement le fonctionnement de cette pompe. Il devient alors nécessaire d'ouvrir le petit robinet 12, afin de produire dans la chambre d'aspiration de la pompe alimentaire, une petite injection directe que condense la vapeur en question. — La pompe alimentaire qui nous occupe présente, d'ailleurs, des dispositions particulières qui sont représentées par la *fig.* 18, *pl.* VIII et expliquées au n° 63_1.

Passons maintenant à la pompe à air. Cette pompe est du système ordinaire à piston plongeur et à double effet; elle aspire dans le compartiment D'_4, qui fait partie de la chambre à vapeur du condenseur. En raison de l'élévation du conduit D'_4 dans l'intérieur du condenseur, et du chapeau L qui surmonte ce conduit, les gaz seuls ont accès au compartiment d'aspiration de la pompe à air, et l'eau douce ne peut y pénétrer tant que la bâche B'_4 n'est pas pleine. — De son côté, l'eau de circulation, après avoir traversé tous les tubes du condenseur, arrive, elle aussi, dans le compartiment D'_4, d'où elle est aspirée par la pompe à air pour être rejetée à la mer. La pompe à air fonctionne donc comme si elle desservait un condenseur à mélange, abstraction faite de l'eau douce qui reste dans le condenseur. Il importe de remarquer que, à égale température de condensation, le vide est meilleur dans les condenseurs à surface que dans les condenseurs à mélange, en raison de la suppression pour les premiers de l'air que l'eau refroidissante apporte dans les seconds. Il n'en peut être de même ici, puisque l'eau de circulation pénètre dans l'intérieur de la chambre à vapeur du condenseur, dont le compartiment D'_4 fait partie. Par ailleurs, le poids d'eau de circulation nécessaire pour con-

denser une quantité donnée de vapeur est généralement plus grand que le poids d'eau d'injection qu'il faudrait employer dans le cas du mélange; par suite, pour maintenir le même vide au condenseur, le volume de la pompe à air doit être aussi plus grand, ce qui augmente le travail absorbé par cette pompe.

Pour le cas qui nous occupe, l'eau de circulation n'exige aucune dépense de travail pour arriver dans le compartiment d'aspiration de la pompe à air. Son mouvement est déterminé par la différence qui existe entre la pression atmosphérique et la pression du condenseur, augmentée de la pression due à la colonne d'eau qui pèse sur le régulateur K de l'eau de circulation. En un mot, l'eau de circulation pénètre dans le compartiment D'_e, sous l'influence de la même pression qui fait que l'eau d'injection pénètre dans un condenseur par mélange. Comme pompe de circulation, la pompe à air n'a donc pas d'autre travail à faire que celui qui est nécessité par l'extraction de l'eau de circulation prise au condenseur; et si le travail absorbé par cette pompe est plus grand que celui d'une pompe desservant un condenseur par mélange, cela ne peut tenir qu'à la différence des volumes de ces pompes. — C'est pour réduire au strict nécessaire le volume de la pompe à air que le nombre de parcours de l'eau de circulation dans les tubes a été porté à huit, ce que l'on ne pourrait faire dans un condenseur muni d'une pompe de circulation distincte de la pompe à air sans augmenter démesurément le travail absorbé par cette pompe de circulation. — Au point de vue du nombre de parcours de l'eau réfrigérante et du sens de la marche de cette eau, le condenseur qui nous occupe fonctionne comme un condensateur (n° 52). Grâce à cette disposition on obtient, pour l'eau provenant de la vapeur condensée, la plus basse température possible, et une température relativement élevée pour l'eau de circulation à sa sortie du condenseur. Il en résulte que le poids de cette dernière eau est considérablement diminuée et ne diffère pas sensiblement du poids d'eau d'injection directe qui aurait été nécessaire. En tenant compte de ces circonstances, le volume de la pompe à air n'a donc pas besoin d'être sensiblement augmenté.

Avec le système qui nous occupe, le vide a atteint 68 centimètres, aux essais, et était par suite égal à celui qu'on peut obtenir dans les meilleurs condenseurs en usages. Ce système fait économiser la construction d'une pompe de circulation; et le travail absorbé par la pompe à air reste sensiblement égal à celui que nécessiterait la pompe à air d'un condenseur par mélange. — D'autre part, la possibilité de régler la quantité d'eau de circulation suivant l'allure de la machine permet de maintenir au condenseur la température qui donne pour chaque allure le maximum d'utilisation. — Le seul inconvénient sérieux que présente ce système consiste dans les pertes fréquentes d'eau douce qui peuvent résulter du mauvais fonctionnement de la pompe alimentaire. Car pendant la durée de ce mauvais fonctionnement, les niveaux baissent aux chaudières, tandis que la bâche à eau douce se remplissant, le trop-plein se déverse dans le conduit D'_e, d'où il est expulsé à la mer par la pompe à air. C'est une perte

d'eau douce qu'il faut réparer immédiatement, pour remonter les niveaux aux chaudières, en ouvrant en grand l'injection directe 12 de la pompe alimentaire, ou en faisant aspirer directement, suivant le besoin, la pompe alimentaire dans la bâche B'_a, au moyen du robinet 8. — Cette perte ne peut être évitée que par une surveillance exceptionnelle des niveaux d'eau aux chaudières, et surtout du niveau dans la bâche à eau douce. Dès que ce dernier niveau est près du sommet du tube indicateur 14, il faut faire fonctionner le petit appareil 12, et ouvrir grandement les alimentations, à moins que les niveaux ne soient déjà très-élevés aux chaudières, ce qui indiquerait l'existence de fuites aux joints des tubes du condenseur. — Ajoutons que la perte d'eau douce qui peut résulter de la quantité de vapeur qui pénètre dans le compartiment d'aspiration D'_e de la pompe à air est insignifiante, en raison de la position de ce conduit dans la partie inférieure du condenseur. Mais dans les mouvements de roulis ou de tangage du bâtiment, l'eau de la bâche B'_a peut être projetée dans le conduit D'_e et occasionner ainsi une perte d'eau douce importante. Cette perte peut être évitée, au moins en grande partie, en maintenant, dans ces circonstances, le niveau de la bâche à eau douce très-bas.

Il va de soi que le régulateur K de l'eau de circulation doit être manœuvré à chaque changement d'allure de la machine, absolument comme s'il s'agissait d'une injection directe au condenseur. On se règle d'ailleurs sur les mêmes indications : température du condenseur et vide dans ce récipient. En un mot, le condenseur qui nous occupe doit être traité, au point de vue de l'eau de circulation, comme s'il s'agissait d'un condenseur par mélange. Malgré les avantages de réduction d'encombrement et du prix de revient, que présente le genre de condenseur que nous venons de décrire, cette disposition n'est pas avantageuse en marine, parce que le fonctionnement de la pompe alimentaire n'est pas assuré en toutes circonstances. Il en résulte que la moindre négligence peut occasionner une dénivellation du niveau de l'eau aux chaudières et compromettre la sécurité des générateurs. D'autre part, on perd une grande partie du bénéfice de la condensation par surface, par l'introduction très-fréquente de l'eau de mer dans les chaudières, que nécessite le fonctionnement irrégulier de la pompe alimentaire.

Le système de condenseur dont nous venons de nous occuper se rencontre encore sur les machines de 900 chevaux de 300 kilogrammètres, du vaisseau cuirassé *le Friedland*. Ces machines, du système Woolf, à bielle en retour à trois cylindres points morts à 90° et 135°, fonctionnaient à l'Exposition universelle de 1867; elles étaient primitivement munies de condenseurs par mélange.

N° 48$_4$ Métal, formes, dimensions et confection des tubes des condenseurs à surface. Métal des plaques de tête. — Les tubes des condenseurs à surface sont confectionnés en bronze ou en cuivre rouge. Ils ont tous la forme cylindrique. Le diamètre varie de 16 à 20 millimètres suivant les constructeurs, et

l'épaisseur de un millimètre à un millimètre et demi. On rencontre d'assez grands écarts dans la longueur, qui est d'ailleurs réglée par la disposition du condenseur. Cette longueur varie de 1 à 2 mètres pour les tubes horizontaux ayant l'eau réfrigérante dans l'intérieur; et de 2 à 3 mètres pour les tubes qui reçoivent la vapeur dans l'intérieur, que ces tubes soient horizontaux, verticaux ou inclinés. — Les tubes en bronze sont fondus, puis alésés et tournés; les tubes en cuivre sont étirés sans soudure.

Les tubes en bronze sont préférés en Angleterre, parce que ce métal est moins sujet que le cuivre à se couvrir d'impuretés au contact de l'eau graisseuse. Toutefois, l'Amirauté exige que pour les machines des bâtiments de guerre, les tubes des condenseurs soient en cuivre. Ce dernier métal est celui qui est le plus généralement employé en France. — Au point de vue de la conductibilité, le cuivre rouge a l'avantage sur le bronze; mais, en raison de la faible épaisseur des tubes, et eu égard à la manière dont la chaleur se transmet (n° 49$_2$), cet avantage n'existe réellement pas en pratique. Le bronze devrait donc être préféré comme plus résistant et moins oxydable; mais la confection des tubes en cuivre rouge exige beaucoup moins de dépenses de main-d'œuvre, et revient en somme moins cher, malgré le prix plus élevé de la matière.

Les plaques de tête sont généralement en fonte si les tubes sont en bronze, et en bronze si les tubes sont en cuivre rouge. — Les plaques de tête en fonte sont quelquefois de la même coulée que le condenseur; mais ce système n'est possible que pour des condenseurs de petites dimensions, à cause du travail d'alésage des trous. Le plus souvent, les plaques de tête sont rapportées. — Les plaques à tubes, qu'elles soient en fonte ou en bronze, sont toujours coulées pleines; les trous y sont percés à la machine. Afin d'abréger le travail, on se sert d'outils spéciaux qui permettent de percer et d'aléser plusieurs trous à la fois.

Les plaques rapportées sont généralement boulonnées sur des collerettes d'attente venues de fonte avec le condenseur; elles sont quelquefois consolidées par des tirants et des entretoises. Dans les condenseurs cylindriques de *Penn*, la plaque inférieure repose sur un rebord venu de fonte avec le condenseur et supporte la plaque supérieure au moyen d'une colonne centrale creuse, traversée par un gros boulon; de petits supports verticaux additionnels sont placés sur une circonférence médiane lorsque le condenseur est d'un grand

diamètre. Quelquefois, pour les condenseurs à eau réfrigérante dans les tubes, la plaque de tête est emprisonnée entre le corps du condenseur proprement dit et les boîtes formant coquille de la chambre à eau. Dans ce cas, ces boîtes sont munies de portes de visite pour les tubes, afin qu'on n'ait pas à briser le joint de la plaque de tête.

N° 48, Divers systèmes de joints des tubes des condenseurs à surface avec les plaques de tête. — Les joints des tubes sur les plaques de tête sont rendus étanches par plusieurs moyens qui sont représentés par les *fig.* 16 à 23, *pl.* VI et que nous allons passer en revue. Fig. 16, Pl. V..

Joint avec presse-étoupe à écrou. — Le moyen le plus généralement employé est celui qui est représenté par la *fig.* 16, qui montre également le mode de jonction de la plaque de tête dans le condenseur *Maudslay*. Cette plaque de tête A est en bronze et rapportée sur une collerette d'attente A′ du condenseur qui, lui, est en fonte. Les boulons de jonction servent en même temps à faire le joint de la porte A″ de la chambre à vapeur du condenseur. — La plaque de tête A est creusée autour du passage des tubes α pour former de petits presse-étoupe dont les chapeaux annulaires en bronze B, taraudés dans la plaque de tête, compriment une garniture formée de petits lacets de *coton tressé* imbibés d'huile de lin. Le serrage des écrous B s'effectue au moyen d'une clef à tenons, dont les deux adents s'engagent dans les petites entailles 1 qu'on remarque sur la vue 2°. Avec ce mode de jonction, les tubes sont parfaitement libres de s'allonger ou de se raccourcir sous l'influence des variations de température auxquelles ils sont soumis. C'est le système adopté par presque tous les constructeurs français et par bon nombre de constructeurs anglais. — L'usine *Mazeline* employait, pour faire la garniture, des petites bagues creuses en caoutchouc, recouvertes de toile. Cette garniture facilite singulièrement les opérations de démontage et de remontage des tubes.

Joint avec écrou de retenue sans garniture à un bout, et avec presse-étoupe à écrou et garniture à l'autre bout. — Ce système est représenté par la *fig.* 17, *pl.* VI qui montre, sur la même plaque de tête, les deux modes de jonction des deux bouts de chaque tube. Les plaques de tête A sont en bronze. Le moyen de fixation des tubes α est différent pour les deux extrémités. Du côté où débouche l'eau refoulée par la pompe de circulation, et par conséquent à l'entrée de cette eau dans les boîtes, l'écrou B′ est taraudé sur le tube lui-même et appuie sur une petite bague en caoutchouc. La pression déterminée par l'eau de circulation et le frottement de cette eau dans les tubes font appuyer suffisamment l'écrou B′ sur la bague en caoutchouc pour que le joint soit étanche. — L'autre extrémité du tube, celle par laquelle sort l'eau de circulation, est maintenu étanche au moyen d'un petit presse-étoupe dont le chapeau annulaire B se taraude dans la plaque de tête. — Le système de jonction qui nous occupe a l'avantage d'exiger moitié moins Fig. 17, Pl. VI.



de travail que le précédent pour le démontage et le remontage des tubes; ces derniers ne sont jamais déplacés par le courant d'eau de circulation, et les fuites sont moins à craindre.

Joint avec plaque en caoutchouc. — La plaque de tête en
Fig. 18, Pl. VI. bronze A, *fig.* 18, *pl.* VI, est rapportée sur une collerette d'attente en fonte A', de la même coulée que le condenseur. La jonction est faite par une série de boulons en fer 1 dont la tête appuie sur la fonte et qui sont serrés par un écrou en bronze appuyant sur la plaque à tubes. Pour préserver le boulon 1 de l'effet galvanique, l'écrou n'est pas percé de part en part. Sur quelques appareils, les boulons 1 sont remplacés par des prisonniers taraudés dans la collerette A, mais portant un contre-écrou ferme en bronze, derrière la collerette A'. La jonction des tubes sur les plaques de tête est faite au moyen d'une plaque de caoutchouc C serrée par une plaque en bronze B au moyen des prisonniers 2. La plaque de caoutchouc est percée de trous ayant un diamètre un peu inférieur à celui des tubes; de son côté, la plaque B est largement évidée autour du passage de chaque tube, de manière à ne porter que sur une très-faible épaisseur dans l'intervalle des tubes et tout autour de chacun d'eux. Il résulte de cette disposition que la plaque en caoutchouc C forme un bourrelet fortement comprimé autour de l'extrémité de chaque tube. Cette disposition de joints présente de grandes facilités de démontage; il est fréquemment employé par l'usine du *Creusot*. Il va de soi que l'eau réfrigérante est dans les tubes et baigne par suite constamment la plaque de caoutchouc.

Autre genre de joint avec plaque en caoutchouc. —
Fig. 19, Pl. VI. Les plaques de tête A, *fig.* 19, *pl.* VI, sont en bronze; les tubes *x* traversent librement les deux plaques de tête, et la jonction est obtenue au moyen de plaques en caoutchouc C enfilées sur les tubes, et comprimées par les plaques en cuivre rouge ou en bronze B, ces dernières étant serrées par les vis 2 taraudées dans les plaques de tête. Du côté par lequel pénètre l'eau de circulation dans les tubes (*vue* 2°), ces derniers traversent librement la plaque B et font un peu saillie en dehors; tandis que, du côté opposé (*vue* 1°), la plaque B étant percée au diamètre intérieur des tubes, ces derniers appuient par leur section sur cette plaque B qui leur sert d'arrêt. De cette façon, les tubes ne peuvent pas glisser sous l'influence de la pression exercée par l'eau de circulation ou du frottement de cette eau dans leur intérieur. — Cette disposition présente de grandes facilités de démontage, car, tant que les plaques de caoutchouc sont en bon état, il suffit de desserrer convenablement les vis 2 pour que les tubes puissent être enlevés. Lorsque les tubes sont remis en place après nettoyage, le serrage des vis 2 fait refluer le caoutchouc autour des tubes et les joints deviennent étanches. — Ce système de joint a été imaginé par *M. Lagrafel, ingénieur de la maison Fraissinet, à Marseille.*

Joint avec bourrelet en caoutchouc. — Les plaques de
Fig. 20, Pl. VI. tête A, *fig.* 20, *pl.* VI, sont en bronze. Les tubes *x* ne touchent pas les plaques de tête, mais passent dans un écrou B taraudé dans ces dernières et faisant avec elles un joint étanche. Les écrous B portent, sur le milieu de

leur longueur, une gorge circulaire dans laquelle est logé un boudin en caoutchouc C recouvert de toile, et qui se trouve comprimé dans cette cavité par le fait même de l'introduction du tube. Ce joint a quelque ressemblance avec celui des pistons des machines hydrauliques. — L'extrémité extérieure de l'écrou B est percée au diamètre extérieur du tube; il en résulte une petite saillie intérieure qui empêche le tube de glisser le long de son axe, sous l'influence de la pression exercée par l'eau de circulation et le frottement de cette eau dans les tubes. Il va de soi que, lorsque les deux écrous B du même tube sont en place, ce dernier ne les touche par aucune de ses extrémités. Un jeu convenable est réservé pour la dilatation du tube.

Joint avec simple bague en caoutchouc. — Les plaques de tête A, *fig.* 21, *pl.* VI, sont en bronze, rapportées sur des collerettes d'attente A′ de la même coulée que le condenseur, et fixées sur ces dernières au moyen des vis 1. Les tubes traversent les plaques de tête qui sont creusées extérieurement autour des tubes, comme si l'on avait voulu faire une boîte à étoupe. Cette cavité reçoit une simple bague en caoutchouc, comprimée seulement par la pression qu'exerce l'eau de circulation sur les plaques de tête. Ce système est employé par *MM. Simons et Cie*. — Quelquefois, cette bague en caoutchouc est remplacée par des rondelles système *Marschal*, lesquelles sont disposées exactement comme celles des presses hydrauliques. — Ce système de joint est fort simple et suffisamment étanche, surtout avec les rondelles *Marschal;* mais il a l'inconvénient de ne pas avoir de point d'arrêt pour les tubes qui peuvent glisser le long de leur axe, sous l'influence de la pression exercée par l'eau de circulation ou par le frottement de cette eau dans leur intérieur. Fig. 21, Pl. VI.

Joint avec bague en caoutchouc pressée par une saillie en étain soudée au bout du tube. — Les plaques de tête A, *fig.* 22, *pl.* VI, sont en bronze et rapportées sur le condenseur. Ces plaques sont percées au diamètre extérieur des tubes α, et sont ensuite évidées à un diamètre plus grand du côté de l'intérieur, pour y recevoir une bague en caoutchouc C. Chaque bout de tube porte un bourrelet d'étain B qui ne fait qu'appuyer légèrement sur la bague en caoutchouc C lorsqu'on met les plaques de tête A en place, mais qui, par suite de la dilatation du tube, comprime suffisamment cette bague quand la machine est en marche. — Ce système de jonction est suffisamment étanche et les tubes ne risquent pas de courir; mais il présente quelques difficultés pour la mise en place des plaques de tête, parce qu'il faut enlever tous les tubes à la fois. Fig. 22, Pl. VI.

Joint avec bague en bois. — Les plaques de tête en bronze A, *fig.* 23, *pl.* VI, sont percées à un diamètre plus grand que celui des tubes α et ces derniers sont maintenus par les bagues en bois comprimé C, qu'on chasse avec force entre le tube et les plaques de tête et qui, une fois mouillées, forment bourrelet de chaque côté. — Ce système est très en vogue en Amérique; il est aussi employé par *Penn.* Voici comment procède ce constructeur : les bagues en bois sont de petits tubes en sapin coupés dans le sens des fibres, et percés au diamètre intérieur des tubes, 20mm; Fig. 23, Pl. VI.

le diamètre extérieur est de 27mm. A l'une des extrémités, l'arête extérieure est chanfreinée de manière à réduire le diamètre de cette extrémité à 25mm,5 qui est le diamètre du trou de la plaque de tête. On place le tube du condenseur dans la garniture en bois et l'on présente le système à une machine qui comprime la garniture et l'amène au diamètre de 25mm,5. Dès que la garniture a été comprimée, on introduit le tube dans la plaque de tête, et l'élasticité de la garniture en bois fait que, au bout de peu de temps, le trou de la plaque de tête est complétement rempli et le tube légèrement comprimé, ce qui assure l'étanchéité.

Le plus souvent, les bagues en bois ont une longueur égale à deux fois le diamètre extérieur du tube; leur épaisseur est de 4mm, supérieure de 1mm à l'épaisseur annulaire que doit laisser la plaque de tête autour du tube. Une des extrémités de la bague est chanfreinée à mi-bois sur une longueur égale à deux fois son épaisseur. — Les bagues étant bien sèches, sont enfoncées dans la plaque de tête avec un mandrin approprié; il se produit une compression suffisante pour que la bague appuie bien sur le tube, et l'humidité qui fait gonfler le bois rend le joint bien étanche, en même temps qu'elle fait que le tube est suffisamment pressé pour l'empêcher de glisser sous l'influence de la poussée de l'eau réfrigérante ou du frottement de cette eau. Lorsqu'on veut démonter les tubes, on coupe les bagues en bois au ras de la plaque de tête, puis on les chasse dans le condenseur avec un mandrin. — Le système de joint qui nous occupe a donné de très-bons résultats.

N° 49. — 1. Travail résistant des condenseurs à surface. — 2. Coefficient de conductibilité des tubes d'un condenseur. Rôle de l'incrustation des deux faces des parois condensantes. — 3. Coefficient de conductibilité des condenseurs à surface. — 4. Température à laquelle il convient d'opérer la condensation par surface. — 5. Étendue de la chambre à vapeur et de la surface condensante. — 6. Relation entre l'étendue de la surface condensante et le poids d'eau de circulation. Étendue de la chambre à eau froide. — 7. De la position des tubes par rapport au plan horizontal et de leur groupement. — 8. Du sens, du mode et du travail de la circulation de l'eau froide. — 9. Moyens d'accroître l'efficacité des condenseurs à surface.

N° 49_1 Travail résistant des condenseurs à surface. — La formule (4) que nous avons établie au n° 46_2 pour calculer le travail résistant des condenseurs à mélange, convient aussi aux condenseurs à surface, et on a pour chaque coup de piston :

$$T^{km} = 10.000 \frac{SC}{2} [2fp + A(P - fp)(1 - \cos a)].$$

Dans cette formule, les lettres ont les significations suivantes :

S Surface du piston en mètres carrés.
C Course du piston en mètres.
P En kilogrammes par centimètre carré, la pression de la vapeur au commencement de l'évacuation.
p En kilogrammes par centimètre carré, la pression normale au condenseur.

f Le rapport qui existe dans chaque machine, entre la contre-pression normale au cylindre et la pression normale au condenseur.
a Le nombre de degrés de l'avance angulaire à l'évacuation.
A Un coefficient exprimant le rapport de l'effort moyen correspondant à la perte de travail due au retard de la condensation, à la différence $(P - fp)$. La valeur de ce coefficient est donnée, pour diverses valeurs de a, au n° 46_2. En pratique, l'avance angulaire à l'évacuation a vaut en moyenne 74°; elle correspond à 0,1 de la course du piston.

Nous ne répéterons pas les observations que nous avons faites au n° 46_2 pour le travail résistant du condenseur à mélange; elles sont applicables au travail résistant du condenseur à surface, le lecteur n'a qu'à s'y reporter.

N° 49_2 Coefficient de conductibilité des tubes d'un condenseur. Rôle de l'incrustation des deux faces des parois condensantes. — D'après les expériences de *Péclet*, 1 mètre carré de cuivre rouge de 1^{mm} d'épaisseur laisse passer par seconde $19^{cal},11$ pour une différence de température de 1° entre ses deux faces; mais dans cette condition particulière que la plaque soit frottée pendant la condensation, afin qu'il ne reste pas d'eau stagnante en contact avec elle, et que d'un autre côté, la vapeur à condenser soit complétement privée d'air. En pratique les choses ne se passent pas ainsi; il reste toujours avec la vapeur une certaine quantité d'air qui nuit beaucoup à la rapidité de la condensation, d'autant plus que cette condensation s'opère dans le vide. D'autre part, l'eau provenant de la condensation n'abandonne pas instantanément le métal des tubes; de sorte que ceux-ci sont toujours recouverts d'une couche très-mince d'eau que la chaleur doit traverser pour arriver au tube. Pareille chose existe du côté de l'eau froide, où la surface des tubes est aussi revêtue d'une couche très-mince d'eau rendue à peu près stagnante par la rugosité si faible qu'elle soit du métal.

Dans ces conditions, la quantité de chaleur qui traverse le tube dépend de la conductibilité extérieure de l'eau, et en raison de la grande conductibilité du métal seul, cette quantité de chaleur est à peu près indépendante de l'épaisseur du tube, pourvu que cette épaisseur ne dépasse pas $1^{mm},5$ à 2^{mm}. Les couches d'eau qui recouvrent les faces des tubes étant très-minces, doivent avoir l'une la température de la vapeur qui se condense, l'autre la température de l'eau de circulation. — En raison de la grande conductibilité propre au métal des tubes, il ne doit pas y avoir de différence sensible de température entre les deux faces; de sorte que si l'on désigne par:

T La température de la vapeur qui se condense.
t La température de l'eau de circulation.
x La température du tube.
α Le coefficient de conductibilité extérieure de l'eau.

On doit avoir :

$$\alpha(T - x) = \alpha(x - t); \quad \text{d'où} \quad x = \frac{T + t}{2};$$

c'est-à-dire que la température du tube est une moyenne entre la température de la vapeur qui se condense et celle de l'eau de circulation.

En désignant par K le coefficient de conductibilité réelle du tube ainsi revêtu d'eau, on a :

$$K(T - t) = \alpha\left(T - \frac{T + t}{2}\right);$$

ou bien encore :

$$K(T - t) = \alpha\left(\frac{T + t}{2} - t\right).$$

On déduit de l'une quelconque de ces deux égalités :

$$K = \frac{\alpha}{2},$$

C'est-à-dire que le coefficient de conductibilité réelle du tube est la moitié du coefficient de conductibilité extérieure de l'eau.

Il résulte des expériences faites par MM. *Thomas* et *Laurens* et citées par *Péclet*, que dans les conditions dont nous venons de parler, le coefficient de conductibilité des tubes est de $1^{cal},6$. Le coefficient de conductibilité de l'eau serait par suite de $3^{cal},2$ (*). —

(*) Ce coefficient est en réalité un peu plus fort, parce qu'il existe toujours une certaine différence entre les températures des deux faces des tubes. Soient :

T La température de la couche d'eau du côté de la vapeur.
x La température de la face du tube en contact avec cette eau.
y La température de la face du tube en contact avec l'eau de circulation.
t La température de cette eau de circulation.
$t = T - 1$ ou $T - t = 1$.
α Le coefficient de conductibilité extérieure de l'eau.

Le coefficient de conductibilité du tube lui-même, décapé et frotté, ayant 1^{mm} d'épaisseur, est de $19^{cal},11$; le coefficient de conductibilité du même tube avec ses deux enveloppes d'eau est de $1^{cal},6$; on a par suite :

$$\alpha(T - x) = 1,6; \quad \alpha(y - t) = 1,6 \quad \text{et} \quad 19,11(x - y) = 1,6.$$

En tirant les valeurs de x et de y dans les deux premières équations, puis portant ces valeurs dans la troisième, en remplaçant d'ailleurs $(T - t)$ par 1, on trouvera :

$$\alpha = \frac{2 \times 1,6 \times 19,11}{19,11 - 1,6} = 3^{cal},4924.$$

M. *Audenet* cite, dans son *Étude sur les condenseurs à surface*, une expérience faite à *Indret*, d'après laquelle le coefficient de conductibilité des tubes serait de 1,4 à 1,5, ce qui confirme le résultat trouvé par MM. *Thomas* et *Laurens*.

Le coefficient de conductibilité des tubes du condenseur, déjà considérablement réduit par la couche d'eau qui reste à l'état stagnant sur ses faces, l'est encore en service courant, par les dépôts qui se forment sur les tubes aussi bien du côté de l'eau de circulation que du côté intérieur du condenseur. Même en admettant que l'eau d'alimentation ait été exactement distillée et ne contienne par suite aucun sel en dissolution, la vapeur qui va de la chaudière au condenseur en passant par le cylindre, entraînera toujours avec elles des matières extrêmement divisées, et détachées soit par le frottement de la vapeur, soit par le frottement des organes, et provenant de la chaudière, du tuyautage, des tiroirs, des cylindres et des divers joints. Ces matières extrêmement ténues se mélangent avec le suif de graissage, la vapeur les emporte au condenseur, où elles forment croûte sur les tubes, l'adhérence étant immédiatement déterminée par la présence du suif qui se fige rapidement au contact des tubes. — Comme l'eau de la chaudière n'est pas distillée et qu'il y a toujours entraînement d'une certaine quantité d'eau par la vapeur, la croûte déposée sur les tubes du condenseur se compose d'un mélange de suif, d'oxyde de fer, d'oxyde ou de carbonate de cuivre, de carbonate de chaux, de magnésie libre et de sulfate de chaux. A mesure que le dépôt se produit, une nouvelle couche d'eau se dépose à sa surface, de sorte qu'au bout d'un certain temps, la couche d'eau qui forme enveloppe sur les tubes est séparée de ces derniers par une épaisseur plus ou moins grande de matière isolante. D'après M. *Cousté*, le coefficient de conductibilité intérieure de ce dépôt vaut $0^{cal},14$. — Il en résulte que la conductibilité du tube est rapidement diminuée. L'importance de cette diminution est en raison directe de l'épaisseur du dépôt, et pour un temps donné de fonctionnement, cette épaisseur dépend de l'abondance plus ou moins grande du graissage et de la nature des matières lubrifiantes. Elles ne saurait être déterminée *à priori*.

Un fait semblable se passe du côté de l'eau de circulation. Que cette eau provienne d'un puits, d'une rivière ou de la mer, elle contient toujours des sels incrustants et notamment des bicarbonates, mélangés avec des matières terreuses. Les bicarbonates perdent en

s'échauffant une partie de leur acide, et déposent sur les tubes des carbonates neutres, formant ainsi un dépôt qui peut être rapidement augmenté si les matières terreuses sont en proportion notable. Ce dépôt isole le tube de l'eau et diminue sa conductibilité. Il est même à remarquer que cette croûte extérieure se forme principalement sur les tubes qui, par leur position dans le condenseur, travaillaient le plus efficacement à la condensation. Le coefficient de conductibilité de ces dépôts extérieurs peut encore être évalué, d'après M. *Cousté*, à $0^{cal},14$.

Il n'est pas sans intérêt d'examiner ce que deviendrait le coefficient de conductibilité des tubes dans le cas où les incrustations dont nous venons de parler atteindraient une épaisseur de 1 millimètre.

1° *Si l'incrustation est sur la face interne.* Soient :

- T La température du condenseur et par suite de la couche d'eau qui recouvre la croûte.
- x La température de la face de la croûte en contact avec cette couche d'eau.
- y La température de la face de la croûte en contact avec le tube.
- t La température de l'eau de circulation.
- e L'épaisseur de la croûte.
- K Le coefficient de conductibilité de tout le système.

Nous supposerons toujours qu'en raison de sa grande conductibilité le métal du tube possède partout la même température.

La couche d'eau qui enveloppe la croûte émet, par mètre carré et par seconde :

$$3^{cal},2\,(T - x) \text{ calories.}$$

La quantité de chaleur qui traverse la croûte est :

$$\frac{0^{cal},14}{e}(x - y) \text{ calories.}$$

La quantité de chaleur absorbée par l'eau de circulation en contact avec le tube est :

$$3^{cal},2\,(y - t) \text{ calories.}$$

Enfin, la chaleur qui passe dans tout le système est :

$$K(T - t) \text{ calories.}$$

En faisant $T - t = 1$, d'où $T = 1 + t$, on doit avoir :

$$3,2(1 + t - x) = \frac{0,14}{e}(x - y) = 3,2(y - t) = K,$$

d'où l'on tire :

$$K = \frac{3,2 \times 0,14}{e \times 3,2 + 0,14 \times 2}.$$

Et pour $e = 1$, il vient : $K_1 = 0^{cal},13$.

2° *Si la croûte est à l'extérieur du condenseur;* le tube est dans les mêmes conditions que précédemment et on a encore : $K_1 = 0^{cal},13$.

3° *S'il y a croûte sur les deux faces du tube;* on peut supposer, en raison de notre hypothèse, que le métal du tube a partout la même température, que les deux épaisseurs de croûte s'ajoutent; on n'a qu'à faire $e = 2$, ce qui donne : $K_2 = 0^{cal},067$.

Ainsi en résumé :

Le métal nu et frotté aurait un coefficient de conductibilité égal à. . . . . $19^{cal},11$

Le métal décapé, mais avec une enveloppe d'eau, n'a qu'une conductibilité de. . . . . $1^{cal},6$

S'il existe une croûte de 1^{mm} *d'épaisseur, mais d'un seul côté, la conductibilité tombe à.* . . . . $0^{cal},13$

Enfin, si la croûte de 1^{mm} *existe sur les deux faces; ou bien si elle a* 2^{mm} *d'un seul côté, le coefficient de conductibilité tombe à* . . . . $0^{cal},067$

On voit tout de suite quel rôle jouent les incrustations dans les condenseurs, et il n'est pas étonnant que l'efficacité de ces organes diminue rapidement quand le graissage est trop abondant, ou qu'on n'a pas le soin de nettoyer les tubes toutes les fois qu'il est possible de le faire.

N° 49_3 Coefficient de conductibilité des condenseurs à surface. — *Le coefficient de conductibilité d'un condenseur à surface*, qu'il ne faut pas confondre avec *le coefficient de conductibilité de ses tubes*, doit s'entendre de la quantité de chaleur qui passerait dans une seconde à travers un mètre carré de la surface condensante, prise dans son ensemble, pour une différence de 1° entre les températures de ses deux faces, et avec les hypothèses suivantes :

1° La condensation de la vapeur s'effectuant pendant toute la durée de la course du piston, et par suite d'une manière continue.

2° La température du condenseur étant prise égale à celle de la bâche à eau douce.

3° La température moyenne de l'eau de circulation étant prise égale à la demi-somme des températures extrêmes de cette eau.

Pour que le lecteur puisse se rendre compte des raisons qui ont fait adopter les hypothèses ci-dessus, il est nécessaire de rappeler comment se produit la condensation. L'eau froide circule d'une manière continue dans les tubes, et sa température varie depuis son

entrée jusqu'à sa sortie, puisque cette eau s'échauffe à mesure qu'elle avance. Si la vapeur affluait au condenseur d'une manière continue et toujours en même quantité, la température de l'eau de circulation croîtrait uniformément, et sa valeur moyenne serait rigoureusement égale à la demi-somme des températures extrêmes de cette eau. Mais il n'en est pas ainsi, et, dans la plupart des machines, l'affluence de la vapeur au condenseur n'a lieu que pendant que la manivelle décrit un arc de 74° environ, dont la moitié correspond à une avance à l'évacuation égale à 0,1 de la course. Il en résulte que l'eau de circulation s'échauffe beaucoup pendant que la manivelle décrit ces 74°, et très-peu pendant le reste de la demi-révolution. La température moyenne de l'eau de circulation, eu égard au temps pendant lequel cette eau reste dans les tubes, est par suite plus élevée que la demi-somme de ses températures extrêmes. La difficulté, on pourrait même dire l'impossibilité de déterminer cette température moyenne provient de ce que toutes les parties de la masse d'eau réfrigérante ne s'échauffent pas au même degré en un même point de leur parcours. Ainsi la température s'élève immédiatement et d'une grande quantité pour l'eau qui pénètre dans les tubes pendant la durée de l'évacuation, tandis que pour l'eau qui pénètre dans les tubes entre deux périodes d'évacuation, la température s'élève d'abord lentement et d'une petite quantité, puis rapidement et d'une quantité incomparablement plus grande, quand il se produit une nouvelle évacuation. Il est donc impossible de déterminer rigoureusement la température moyenne de l'eau de circulation; tout au plus pourrait-on préjuger la valeur de cette température. Dès lors, il est rationnel de prendre la demi-somme des températures extrêmes, ce qui donne sans doute une moyenne un peu trop faible, mais qui a l'avantage de pouvoir être mesurée avec exactitude.

Du côté du condenseur, la température s'élève pendant la durée de l'évacuation réelle, parce que la vapeur est toujours en excès aux environs du point mort du piston; puis cette température diminue progressivement jusqu'à ce qu'elle soit devenue égale à celle de la bâche à eau douce. La température moyenne du condenseur est donc plus élevée que cette dernière; mais de combien, c'est ce qu'on ne peut déterminer parce qu'il est impossible de connaître le moment précis où la température du condenseur atteint son maximum, pas plus que la valeur de ce maximum. Cette dernière valeur ne dépasse d'ailleurs pas de beaucoup la température normale du condenseur,

et n'existe que pendant un temps très-court, si on en juge par les oscillations de l'aiguille de l'indicateur du vide au moment de l'évacuation. En prenant la température moyenne du condenseur égale à celle de la bâche à eau douce, on prend une valeur un peu faible; comme il en est de même pour l'eau de circulation, la différence entre les deux températures moyennes adoptées ne doit pas s'écarter sensiblement de la différence entre les deux températures moyennes réelles.

Reste maintenant la durée de la condensation. Le temps au bout duquel l'équilibre de pression entre le cylindre et le condenseur est établi, peut être représenté par un arc double de l'avance angulaire à l'évacuation. Mais rigoureusement, ce temps ne saurait être pris pour la durée de la condensation. En effet, si la vapeur est en excès aux environs du point mort du piston, cet excès est relativement faible, et ne dure qu'un instant; tandis que cette vapeur fait grandement défaut depuis le commencement de l'évacuation jusque près du point mort, et fait encore défaut peu après que le point mort est franchi. Si la vapeur pénétrait toujours dans le condenseur en quantité telle qu'elle ne fût jamais ni en excès ni en défaut, la durée de la condensation, même en tenant compte de la vapeur qui remplit encore le cylindre quand l'équilibre de pression est établi, serait bien inférieure à celle qui est nécessaire à l'établissement de cet équilibre de pression. Or, cette durée de la condensation ne saurait être déterminée. Dès lors, il est rationnel de lui assigner la même valeur relative pour toutes les machines, et le plus simple consiste à supposer qu'elle est égale à la durée d'un coup de piston. Il est évident que le coefficient de conductibilité du condenseur déterminé dans cette hypothèse doit être bien inférieur au coefficient de conductibilité réel, et tel qu'on le trouverait si le condenseur était transformé en condensateur. Mais en opérant de la même manière pour tous les appareils, on obtiendra des résultats comparables.

Ceci admis, soient :

T La température de condensation égale à celle de la bâche à eau douce.
t La température de l'eau de circulation à son entrée dans le condenseur.
T' La température de l'eau de circulation à sa sortie du condenseur.
q^{ks} Le poids de vapeur à condenser dans une seconde.
L^{cal} La quantité de chaleur que peut céder 1^{ks} de vapeur condensée à zéro degré.
Q^{ks} Le poids de l'eau de circulation pour chaque kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde.
$B^{m.c}$ L'étendue de la surface condensante par kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde. La surface totale condensante sera Bq.

K **Le coefficient de *conductibilité pratique du condenseur*, dans les conditions expliquées ci-dessus.**

On a d'abord :

$$(1) \qquad Q(T' - t) = L - T;$$

d'où :

$$(2) \qquad Q = \frac{L - T}{T' - t}.$$

Cette égalité donne le moyen de déterminer Q, sans avoir à mesurer cette quantité, ce qui est toujours fort difficile en pratique. Les températures sont naturellement indiquées par des thermomètres, pour trouver la valeur de la quantité de chaleur L que peut céder 1^{kg} de vapeur condensée à zéro degré, il suffit de mesurer sur les courbes d'indicateur la pression absolue de la vapeur au commencement de l'évacuation, et de prendre dans la *table I de la fin du tome premier*, la valeur de la chaleur L de transformation qui correspond à cette pression. Cette quantité de chaleur est un peu trop forte, ainsi qu'il a été expliqué au n° 7_8, mais cela n'a aucune importance au point de vue pratique. — D'autre part, l'erreur que l'on peut commettre en mesurant la pression de la vapeur sur la courbe d'indicateur produira une différence insignifiante sur la valeur de L, à cause des variations rapides de la pression pour de faibles variations de température. Il y a lieu de remarquer que la valeur de Q, déterminée comme ci-dessus, tient compte de la quantité d'eau que peut renfermer la vapeur, cette eau étant comptée pour un poids de vapeur sèche correspondant à la quantité de chaleur qu'elle cède à l'eau de circulation. Ce fait est très-important à noter, car il est impossible de mesurer le degré d'aquosité de la vapeur au moment de l'évacuation, les courbes d'indicateur donnant seulement le moyen de calculer le poids de vapeur sèche. — Si, dans une expérience, on mesurait directement, en la recevant dans un réservoir, la quantité d'eau de circulation dépensée dans une heure, d'où on déduirait la quantité Q_1 dépensée dans une seconde, le quotient $\frac{Q_1}{Q}$ donnerait exactement le poids q de vapeur condensée dans le même temps, en tenant compte de l'eau que renferme cette vapeur.

Les q^{kg} de vapeur cèdent à l'eau de circulation une quantité de chaleur $q(L - T)$ qui doit passer dans une seconde à travers la surface condensante totale, en vertu de la différence des températures T et $\frac{T' + t}{2}$; on a donc :

$$(3) \qquad BqK\left(T - \frac{T' + t}{2}\right) = q(L - T);$$

or $\frac{T' + t}{2} = t + \frac{T' - t}{2}$, et l'égalité (1) ci-dessus donne : $\frac{T' - t}{2} = \frac{L - T}{2Q}$; par suite :

$$\frac{T' + t}{2} = t + \frac{L - T}{2Q}, \quad \text{et} \quad T - \frac{T' + t}{2} = \frac{2Q(T - t) - (L - T)}{2Q}.$$

Remplaçons dans l'égalité (3) et tirons la valeur de K, il vient :

$$K = \frac{2Q(L - T)}{B[2Q(T - t) - (L - T)]},$$

ce qui peut se mettre sous la forme :

(4) $$K = \frac{1}{B\left(\frac{T - t}{L - T} - \frac{1}{2Q}\right)}.$$

Telle est la valeur du coefficient de conductibilité pratique d'un condenseur à surface. — M. *Audenet*, *ingénieur de la marine*, a trouvé, d'après des expériences exécutées sur le transport la *Dives* par M. *Risbec*, que le coefficient de conductibilité du condenseur de ce bâtiment est de $0^{cal},4444$; et il importe de remarquer que les expériences dont il s'agit, qui avaient d'ailleurs un autre but que celui de la détermination de ce coefficient, ont été faites au commencement de la mise en service de la *Dives* et que par suite les tubes devaient être très-peu encrassés. — On peut se rendre compte d'une manière suffisamment approchée, de la valeur absolue du coefficient réel de conductibilité du condenseur, en supposant que la condensation pourrait s'effectuer pendant que la manivelle décrit un arc de 60 degrés, le volume total de l'eau de circulation par coup de piston passant dans les tubes dans le même temps. Dans ce cas, pour le poids de vapeur dépensé à chaque coup de piston, la durée de la condensation ne prendrait que les $\frac{60}{180} = \frac{1}{3}$ de la durée d'une course, et le coefficient de conductibilité devrait être 3 fois plus grand, soit $0^{cal},4444 \times 3 = 1^{cal},3332$, au lieu de $1^{cal},6$ valeur trouvée dans les expériences de MM. *Thomas et Laurens*. Il y a donc une perte de $\frac{1,6 - 1,3332}{1,6} = 0,166$, soit 16,6 p. 100. Cette perte provient de l'installation du condenseur.

Pour la *Dives*, le faisceau tubulaire du condenseur est partagé en trois groupes parcourus successivement par l'eau de circulation. La section du tuyau d'arrivée n'est que la moitié de celle d'un groupe, et la même différence se présente pour le tuyau de sortie. Il est évidemment fort peu probable que l'eau, qui n'y est sollicitée par aucune disposition particulière, se divise également dès son arrivée entre les tubes; il est au contraire très-vraisemblable qu'elle reste stagnante ou à l'état de remous dans un certain nombre de tubes,

de sorte qu'elle y prend la température de l'eau condensée, ne sert à rien dans la condensation et annule complétement les tubes qu'elle remplit. Ce phénomène se produit dans tous les condenseurs, quelle que soit la disposition des tubes; mais son importance varie avec cette disposition.

Si toutes les parties de la surface tubulaire agissaient avec la même efficacité, on trouverait approximativement pour coefficient de conductibilité pratique du condenseur en question, $\frac{1^{cal},6 \times 60}{180} = 0^{cal},533$. C'est un chiffre que peu de condenseurs atteignent; et le condenseur de la *Dives*, qui a un coefficient de $0^{cal},444$, doit être considéré comme étant dans de bonnes conditions pratiques. — Dans tous les cas, ce coefficient diminue notablement au bout de quelque temps de service, quand les tubes sont encrassés.

N° 49_4 Température à laquelle il convient d'opérer la condensation par surface. — S'il s'agissait seulement d'obtenir le plus grand diagramme possible, il est évident qu'il faudrait abaisser le plus qu'on pourrait la température de condensation. Mais comme c'est le travail disponible réalisé qu'il s'agit de rendre maximum, on ne doit pas perdre de vue :

1° Que l'abaissement de la température au condenseur entraîne un accroissement de dépense de calorique, due à ce qu'il faut réchauffer l'eau de la bâche envoyée à la chaudière pour être de nouveau convertie en vapeur.

2° Que le travail employé à faire circuler l'eau réfrigérante augmente, lorsqu'on veut diminuer la température de condensation, en même temps que la quantité d'eau réfrigérante nécessaire pour obtenir cette température.

3° Que la diminution de pression au condenseur fait augmenter le travail de la pompe à air.

Il résulte de ces considérations qu'il y a une limite de température au-dessous de laquelle on ne saurait descendre sans diminuer la production réelle de la machine. — Cette limite dépend d'une foule de circonstances, telles que : pression d'introduction, degré de détente, température de l'eau employée à la condensation, et enfin même de l'état de perfection plus ou moins grand du mécanisme, c'est-à-dire des pistons, des tiroirs et surtout des pompes. Il n'est donc pas possible de fixer *a priori* et d'une manière absolue la température de

condensation à laquelle on devra s'arrêter, laquelle variera d'ailleurs d'un appareil à un autre, en sorte que pour se rendre compte de l'influence de la variation de température du condenseur, il faut raisonner dans l'hypothèse d'un cas déterminé.

Prenons pour exemple, une machine Woolf à trois cylindres égaux, comme celle du *Sané* (*sect.* 2, *pl.* IV) qui a fonctionné dans les conditions suivantes (*voir le tableau C et C suite*) :

Pression absolue aux chaudières	$3^{at},18$
Volume engendré par les pistons dans les cylindres qui évacuent au condenseur, par seconde et par cheval indiqué	$0^{m.cub},00425$
Poids de vapeur dépensé par cheval et par seconde, à raison de 8^{kg} de vapeur sèche par kilogramme de charbon brûlé	$0^{kg},002241$
Pression de la vapeur au moment de l'évacuation, par centimètre carré	$P = 0^{kg},71$
Volume engendré par le piston de pompe à air, par seconde et par cheval indiqué	$0^{m.cub},00025$

Nous admettrons d'autre part :

Pression de l'air au condenseur par centimètre carré	$0^{kg},052$
Avance à l'évacuation en fraction de la course du piston	0,12
Avance angulaire à l'évacuation	$a = 40°$
Rapport entre la contre-pression normale au cylindre et la pression normale au condenseur	$f = 1,5$
Température initiale de l'eau de circulation	$t = 15°$
Température prévue de condensation	$T = 40°$

Nous ferons abstraction de l'étendue de la surface réfrigérante du condenseur de ce bâtiment ainsi que du poids de l'eau de circulation, et nous supposerons que, le condenseur étant en projet, cette surface réfrigérante et ce poids d'eau de circulation varieront avec la température de condensation.

Le nombre de mètres carrés de la surface condensante, pour chaque kilogramme de vapeur à liquéfier par seconde, sera pris égale au double du nombre de kilogrammes d'eau de circulation (n° 49_6).

Déterminons d'abord le travail absolu de la vapeur aux cylindres. — A la température de 40°, la pression de la vapeur au condenseur est de $0^{kg},072$ par centimètre carré (*table IV, 1er volume du Gd Traité*); la pression normale au condenseur est égale à cette quantité augmentée de la pression de l'air, soit : $p = 0^{kg},072 + 0^{kg},052 = 0^{kg},124$; et le travail résistant du condenseur donné par l'égalité (4) du n° 46_2 est :

$$t^{km} = \frac{10.000\,SC}{2}[2fp + A(P - fp)(1 - \cos a)].$$

Nous remplacerons SC par $0^{m.cub},00425$, pour avoir le travail résistant du condenseur par cheval indiqué et par seconde ; de plus, le n° 46_2 donne, pour $a = 40°$, $A = 0,302$; d'un autre côté, l'avance à l'évacuation valant 0,12 *de la course*, $(1 - \cos a)$ vaut 0,24. Enfin, en remplaçant les autres

lettres par leurs valeurs ci-dessus, on trouve :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail résistant}\\ \text{du condenseur,}\\ \text{par cheval}\\ \text{et par seconde}\end{array}\right\} = \frac{10.000 \times 0,00425}{2}[2 \times 1,5 \times 0,124 + 0,302(0,71 - 1,5 \times 0,124)0,24] = 8^{km},712.$$

Le travail absolu de la vapeur par cheval indiqué, vaudra :

$$\text{Travail absolu de la vapeur par cheval indiqué} = 75^{km} + 8^{km},712 = 83^{km},712.$$

Pour obtenir le travail sur les pistons, réellement disponible pour la propulsion, il faut retrancher de ce travail moteur absolu :

1° Le travail résistant du condenseur, dont la valeur donnée ci-dessus variera seulement avec la température de condensation, si on conserve la même avance à l'évacuation ;

2° Le travail dépensé pour l'extraction de l'air du condenseur ; pour simplifier, nous supposerons que ce travail est constant pour toutes les températures de condensation, bien que la quantité d'air qui pénètre au condenseur, dans un temps donné, augmente un peu avec le vide ;

3° Le travail dépensé pour extraire l'eau provenant de la vapeur condensée ; ce travail augmente avec le vide ;

4° Le travail absorbé par la pompe de circulation, travail qui varie pour chaque température de condensation, en raison inverse du carré de l'étendue de la surface condensante et en raison directe du cube du poids de l'eau de circulation (n° 49_8).

Reprenons les travaux ci-dessus et cherchons leur valeur pour une température de condensation de 40°.

Le travail résistant du condenseur est déjà calculé et vaut $8^{km},712$.

Le travail dépensé pour l'extraction de l'air est, théoriquement, égal à celui que produirait la détente, ce gaz passant de son volume à la pression atmosphérique au volume qu'il prend dans le condenseur, ou, plus exactement, dans la pompe à air. Or, le volume de la pompe à air est de $0^{m.cub},00025$ (*), et la pression de l'air au condenseur vaut $0^{kg},052$ par centimètre carré. En appliquant la loi de Mariotte, le degré de compression à faire subir à l'air vaut : $\frac{1^{kg},0334}{0^{kg},052}$. Ce degré de compression est égal au degré de détente qui produirait précisément le travail que cette compression va absorber ; ce travail a pour valeur (n° 7_6) :

$$10.000 \times 0^{kg},052 \times 0^{m.cub},00025 \times 2,3026 \log \frac{1,0334}{0,052} = 0^{km},3886.$$

En admettant 0,7 pour coefficient de rendement de la pompe à air, il vient :

(*) Il ne vaut pas la peine de diminuer ce volume de celui qu'occupe l'eau.

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail moteur sur les pistons absorbé}\\ \text{pour l'extraction de l'air}\end{array}\right\} = \frac{0^{km},3886}{0,7} = 0^{km},555.$$

La quantité d'eau à extraire du condenseur est de $0^{kg},00224$ par cheval et par seconde, et a un volume de $0^{m.cub},00000224$. La pression du condenseur étant de $0^{kg},124$, le travail d'extraction de cette eau vaut :

$$[10.000 \times 0^{m.cub},00000224\,(1^{kg},0334 - 0^{kg},124)] = 0^{km},0204;$$

d'où, en prenant le même coefficient de rendement 0,7 :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail moteur sur les pistons absorbé}\\ \text{pour l'extraction de l'eau douce}\end{array}\right\} = \frac{0^{km},0204}{0,7} = 0^{km},029.$$

Pour le travail absorbé par la pompe de circulation, nous choisirons le cas le plus habituel d'une pompe centrifuge mue par un moteur spécial, et nous admettrons, en prenant trois parcours de l'eau réfrigérante, que la dépense est triple du résultat donné par l'égalité (2) du n° 49$_8$, soit :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail absorbé par l'appareil de circulation}\\ \text{pour } 1^{kg} \text{ vapeur à condenser dans une seconde}\end{array}\right\} = 4,73\,Q \times 3 = 14,19\,Q.$$

De l'égalité (4) du n° 49$_8$ on tire :

$$Q = \frac{1}{2} \times \frac{L - T}{T - t}\left(1 + \frac{1}{K}\right).$$

Or, la pression de la vapeur au moment de l'évacuation étant de $0^{kg},71$, la température de cette vapeur est de 90°, et l'on a :

$$L = 606,5 + 0,305 \times 90 = 634 \text{ calories.}$$

De plus, $T = 40°$, $t = 15°$, et si l'on prend $K = 0,478$ (n° 49$_6$), il vient :

$$Q = \frac{1}{2} \times \frac{634 - 40}{40 - 15}\left(1 + \frac{1}{0,478}\right) = 36^{kg},74;$$

d'où, en remarquant que la machine dépense $0^{kg},00224$ de vapeur par cheval et par seconde, on a :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail absorbé par l'appareil de circulation,}\\ \text{par cheval indiqué et par seconde}\end{array}\right\} = 14,19 \times 36,74 \times 0,00224 = 1^{km},167$$

En résumé :

Du travail absolu de la vapeur. . . . . $83^{km},712$

il faut retrancher :

1° Le travail résistant du condenseur.	$8^{km},712$	$10^{km},463$
2° Le travail absorbé par l'extraction de l'air.	0 ,555	
3° Le travail absorbé par l'extraction de l'eau douce.	0 ,029	
4° Le travail absorbé par la pompe de circulation.	1 ,167	

Il reste comme travail réellement disponible sur les pistons et par cheval indiqué. $73^{km},249$

Or, la pression absolue à la chaudière étant de $3^{kg},2$, la température est

de 134° en nombre rond. Pour vaporiser à 134° les $0^{kg},00224$ d'eau dont la température initiale est de 40°, il faut dépenser une quantité de chaleur égale à :

$$0,00224(606,5 + 0,305 \times 134 - 40) = 1^{cal},36.$$

Le travail réellement disponible sur les pistons, par cheval indiqué et par seconde et produit par *une* calorie utilisée à la chaudière, vaudra :

$$\frac{73,249}{1,360} = 53^{km},86.$$

La température de condensation, pour laquelle ce quotient atteindra une valeur maximum, sera la plus convenable, au point de vue économique.

En effectuant des calculs semblables à ceux qui précèdent, et pour diverses températures de condensation, en prenant d'ailleurs pour base que le travail absolu de la vapeur est de $83^{km},712$, et en comparant aux résultats obtenus avec une pompe centrifuge indépendante, lorsque la température de condensation est de 40°, on trouve les résultats suivants, qui correspondent à un condenseur dont les tubes forment trois groupes :

TEMPÉRATURE DE CONDENSATION.		30°.	35°.	40°.	45°.	50°.
Puissance. .	Pompe centrifuge avec moteur indépendant.	1,025	1,013	1,000	0,982	0,952
	Pompe ordinaire conduite par la machine.	1,033	1,024	1,010	0,992	0,969
Utilisation de la chaleur dépensée	Pompe centrifuge avec moteur indépendant.	1,008	1,005	1,000	0,990	0,968
	Pompe ordinaire conduite par la machine.	1,018	1,016	1,010	1,000	0,985

Il résulte des chiffres ci-dessus, que c'est avec une température de condensation de 30° que l'on obtient le maximum de puissance effective, et le maximum de travail utilisé par calorie dépensée à la chaudière. Toutefois, l'écart est relativement si faible, de 30° à 40°, que si l'on fait entrer en ligne de compte le refroidissement plus grand que subit le cylindre par sa communication avec le condenseur, quand la température de ce dernier est plus basse, on pourra conclure que finalement, la température de condensation la plus convenable doit osciller entre 35° et 40°. — Les chiffres maximum de puissance et d'utilisation, sont plus élevés avec une pompe ordinaire conduite directement par la machine, qu'avec une pompe centrifuge actionnée par un moteur indépendant. Toutefois, en pratique, cette dernière permettrait le développement d'une plus grande puissance si la pro-

duction de vapeur aux chaudières était abondante; parce que dans ce cas, le travail que cette pompe absorbe n'étant pas pris directement sur les pistons, on peut condenser à une très-basse température avec beaucoup plus de facilité qu'avec une pompe que la machine conduit directement.

N° 49. Étendue de la chambre à vapeur et de la surface condensante. — L'étendue de la chambre à vapeur du condenseur, c'est-à-dire de la capacité de cet organe dans laquelle la vapeur pénètre, que cette vapeur soit en contact avec l'extérieur ou avec l'intérieur des tubes, n'est soumise qu'à la condition de ne pas déterminer une trop longue durée de l'évacuation réelle. La chambre à vapeur doit être, en pratique, aussi grande que le comporte la disposition du condenseur; car la vapeur peut alors se détendre avant de se condenser, et il en résulte un abaissement notable et rapide de la contre-pression au cylindre. C'est surtout en pénétrant dans le condenseur que la vapeur doit pouvoir se détendre librement, parce que sa vitesse est considérablement réduite soit quand elle pénètre dans les tubes, soit quand elle les contourne. Il est d'une bonne pratique de réserver au sommet du condenseur, un certain volume entièrement libre de tubes, et de conduire le tuyau d'évacuation de manière que la vapeur se répande avec la même facilité dans toute l'étendue de ce volume, et de là, dans la partie de la chambre à vapeur formée par les tubes. Pour les condenseurs qui admettent la vapeur autour des tubes, l'étendue de la chambre à vapeur est réglée par le diamètre de ces tubes et leur écartement. Ce diamètre est le plus souvent de 20 millimètres et l'écartement des tubes d'axe en axe varie de 30 à 35 millimètres. Dans ces conditions, l'espace libre entre les tubes varie des 2/3 aux 3/4 du volume total occupé par le faisceau tubulaire, et de 1/2 aux 2/3 du volume total du condenseur. Ce dernier, en y comprenant les coquilles dans lesquelles circule l'eau refroidissante pour passer d'un groupe de tubes à l'autre, varie de $0^{m.cub.},038$ à $0^{m.cub.},030$ par mètre carré de surface condensante, suivant que l'appareil de condensation est formé de deux corps ou d'un seul (n° 50_a).

De l'égalité (4) du n° 49, on tire :

$$(1) \qquad Bq = \frac{q}{K\left(\frac{T-t}{L-T} - \frac{1}{2Q}\right)}.$$

Cette dernière égalité permet de déterminer l'étendue totale Bq de

la surface condensante, connaissant :

q^{kg} Le poids de vapeur à condenser dans une seconde.
L^{cal} La quantité de chaleur que peut céder 1^{kg} de vapeur condensée à zéro degré.
T La température de condensation.
t La température initiale de l'eau de circulation.
Q^{kg} Le poids d'eau de circulation par kilogramme de vapeur à condenser.
K Le coefficient de conductibilité pratique d'un condenseur similaire de celui qui est en projet.

Le poids q de vapeur à condenser dans une seconde et la quantité de chaleur L que peut céder à l'évacuation, 1^{kg} de cette vapeur condensée à zéro degré, dépendent de la pression initiale, du volume du cylindre et du degré d'introduction. La détermination de ces quantités présente toujours de grandes difficultés pratiques quand on opère sur une machine construite ; et ces quantités ne peuvent être données, pour un appareil en projet, que par voie de comparaison avec une machine semblable. Il faut remarquer en outre, que les valeurs de q et de L sont influencées par la plus ou moins grande quantité d'eau que la vapeur renferme au moment de l'évacuation, et qu'il est presque impossible de déterminer.

Le poids Q d'eau de circulation par kilogramme de vapeur à condenser est une quantité qu'on peut se donner *a priori*, mais non arbitrairement ; en effet, l'étendue de la surface condensante varie en sens inverse du poids d'eau de circulation, et l'augmentation de ce poids d'eau accroît le travail résistant de la pompe de circulation ; mais par contre, la diminution de ce poids fait augmenter le volume et par suite le poids du condenseur.

Enfin le coefficient K de conductibilité pratique du condenseur (n° 49,), ne saurait être fixé *a priori* ; ce coefficient dépend à la fois de l'étendue de la surface condensante, du poids d'eau de circulation et de la disposition intérieure du condenseur, disposition caractérisée par le nombre de parcours de l'eau de circulation ; il dépend surtout du rapport qui existe entre la section du tuyau d'arrivée de l'eau froide et la section du groupe dans lequel cette eau pénètre. La valeur du coefficient K ne pourrait être fixée que par voie de comparaison, connaissant la valeur de ce coefficient pour un condenseur similaire de celui qui est en projet. — Les constructeurs paraissent se préoccuper assez peu de la valeur de ce coefficient, car il n'a été fait, que nous sachions, aucune expérience directe pour déterminer cette valeur. C'est à peine si nous connaissons le coefficient de conductibilité d'un condenseur dans lequel les tubes

sont partagés en trois groupes que l'eau parcourt successivement, la section du tuyau d'arrivée étant égale à la moitié de celle d'un groupe. Ce coefficient déterminé par M. *Audenet* est de $0^{cal},4444$. On ne saurait songer à l'adopter pour tous les condenseurs.

En présence des difficultés qui se présentent pour déterminer directement les divers éléments d'un condenseur, il convient d'examiner qu'elle est la pratique des constructeurs. Nous prendrons pour base l'étendue de la surface de grille. La détermination de la surface condensante à raison de tant par mètre carré de la surface de grille a évidemment sa raison d'être. En effet, les chaudières marines ne diffèrent pas sensiblement entre elles, et ont en général, à peu de choses près, mêmes dispositions et mêmes proportions ; leurs productions de vapeur, avec un tirage naturel, sont à peu près proportionnelles aux surfaces de grille, pourvu que l'aérage des chambre de chauffe soit convenable et que les cheminées ne diffèrent pas sensiblement de hauteur. Il va de soi que pour les petits bâtiments la proportion doit être réduite, car la production de vapeur par mètre carré de grille est moindre. Le tableau suivant donne les résultats de la pratique des principaux constructeurs anglais et français, d'après la moyenne des chiffres relevés sur plusieurs des machines construites par chacun d'eux.

On remarque au premier abord de très-grands écarts dans la pratique des divers constructeurs ; ainsi la surface condensante par mètre carré de grille varie de 13 à 24 mètres carrés, presque du simple au double, et il en est naturellement de même pour la surface condensante par mètre carré de surface de chauffe. Le volume d'eau de circulation par heure et par mètre carré de grille varie égalemeut beaucoup, de 30 à 54 mètres cubes. — Mais si on considère la disposition des condenseurs, disposition caractérisée par le nombre de parcours de l'eau réfrigérante, on reconnaît l'influence du coefficient de conductibilité pratique de ces organes qui diminue avec le nombre de parcours de l'eau froide ; il est dès lors naturel que la surface condensante et même le poids d'eau de circulation suivent une marche inverse.

Les trois dernières lignes du tableau ci-après donnent les moyennes, suivant que l'eau froide fait un, deux ou un plus grand nombre de parcours dans le condenseur, et on remarque, ainsi qu'il était facile de le prévoir, qu'au point de vue de la surface condensante comme au point de vue de l'eau de circulation, l'écart est beaucoup

NOMS des constructeurs ou des usines.	SURFACE condensante par mètre carré de surface		VOLUME débité par les pompes de circulation par heure et par mètre carré de surface de grille.	NATURE de la pompe de circulation et nombre de parcours de l'eau froide dans le condenseur.
	de grille.	de chauffe.		
	m. c.	m. c.	m cub.	
Indret	13,3	0,52	35,0	pompe ordinaire mue par la machine, 3 et 4 parcours.
Creusot	19,0	0,71	30,0	pompe rotative, moteur spécial, 2 parcours.
Forges et chantiers de la Méditer.	14,0	0,56	48,0	pompe centrifuge, moteur spécial, 2 parcours.
Ciotat	24,0	0,90	50,0	pompe centrifuge, moteur spécial, 1 parcours.
Claparède	22,0	0,78	54,0	pompe ordinaire mue par la machine, 1 parcours.
Farcot	16,3	0,60	50,0	pompe ordinaire mue par la machine, 2 parcours.
Penn	21,5	0,80	44,0	pompe rotative, moteur spécial, 1 parcours.
Maudslay	14,0	0,57	54,0	pompe centrifuge, moteur spécial, 2 parcours.
Napier	20,7	0,70	31,0	pompe ordinaire mue par la machine, 2 parcours.
Humphrys et Tennant	19,4	0,75	39,0	pompe centrifuge, moteur spécial, 2 parcours.
Elder et Cie	15,4	0,55	33,0	pompe ordinaire mue par la machine, 3 parcours.
Day et Summers	16,4	0,61	30,0	pompe ordinaire mue par la machine, 2 parcours.
Caird	18,8	0,77	»	pompe ordinaire mue par la machine, 2 parcours.
James Watt	19,2	0,69	»	pompe ordinaire mue par la machine, 4 parcours.
Fawcet et Preston	13,0	0,60	»	pompe ordinaire mue par la machine, 2 parcours.
Moyennes	22,5	0,83	49,3	pour un seul parcours de l'eau refroidissante.
	17,3	0,66	40,3	pour 2 parcours de l'eau refroidissante.
	15,2	0,59	34,0	pour 3 et 4 parcours de l'eau refroidissante.

plus grand entre un condenseur qui n'a qu'un parcours d'eau réfrigérante et celui qui en a deux, qu'entre ce dernier et celui qui en a trois ou quatre.

Les volumes d'eau de circulation portés dans le tableau ci-dessus, sont les volumes théoriques débités par les pompes ordinaires, ou

prévus par le constructeur pour les pompes centrifuges et rotatives. Mais il est évident que le volume d'eau qui traverse réellement le condenseur est plus faible.

N° 49_6 Relation entre l'étendue de la surface condensante et le poids d'eau de circulation. Étendue de la chambre à eau froide. — Toutes choses égales d'ailleurs, la condensation d'un poids donnée de vapeur peut s'effectuer indifféremment, soit avec une surface condensante réduite, en employant alors une grande quantité d'eau froide afin de maintenir cette surface à une basse température, soit avec une moins grande quantité d'eau réfrigérante, et par suite à une température moyenne plus élevée, mais en employant dans ce cas une surface plus étendue. Ainsi que nous l'avons déjà dit au n° 49_5 la réduction du poids de l'eau de circulation nécessite un accroissement considérable du volume et par suite du poids du condenseur; par contre, la réduction de la surface condensante fait augmenter d'une manière considérable le travail absorbé par la pompe de circulation. En principe, il est avantageux de donner à la surface condensante la plus grande étendue compatible avec une bonne installation du condenseur dans l'appareil moteur, et de se réserver le moyen de faire varier le poids d'eau de circulation, afin de suppléer par l'augmentation de cette eau, à la diminution du coefficient de conductibilité produite par l'encrassement des tubes. Dans l'état actuel, il n'est pas possible de fixer de limites précises à cet égard; nous allons examiner la pratique des principaux constructeurs, et comme nous avons rapporté (n° 49_5) au mètre carré de surface de grille, l'étendue de la surface condensante et le volume d'eau de circulation par heure, nous admettrons, ce qui s'écarte peu des résultats obtenus en pratique, que chaque mètre carré de grille brûle par heure, de 85 à 90^{kg} de charbon produisant chacun 8^{kg} de vapeur sèche. Les volumes d'eau de circulation portés au n° 49_5 sont les volumes théoriques débités par les pompes ordinaires lors de l'allure à toute puissance, ou les volumes prévus par le constructeur pour les pompes rotatives ou centrifuges, pour le service du condenseur à la même allure de l'appareil moteur. Dans l'un comme dans l'autre cas, on ne peut guère compter que sur un coefficient de débit égal aux 0,8 du volume théorique ou du débit prévu, à cause des pertes de force vive qu'éprouve l'eau par suite de ses changements de direction, soit dans les pompes ordinaires, soit dans les pompes centrifuges. — Ceci admis, l'éten-

due de la surface condensante, par kilogramme de vapeur produite à la chaudière et liquéfiée dans une seconde, est égale à :

$$\frac{\text{Surface condensante par mètre carré de grille} \times 3.600}{8^{kg} \times 90}.$$

De son côté le poids d'eau de circulation par kilogramme de vapeur est égal à :

$$\frac{\text{Poids d'eau par heure et par mètre carré de grille} \times 0,8}{8^{kg} \times 90}.$$

En effectuant ces calculs pour les chiffres inscrits au tableau du n° 49_5, on trouve les résultats suivants :

NOMS des constructeurs ou des usines.	POUR 1kg DE VAPEUR A CONDENSER dans une seconde		NOMBRE de parcours de l'eau réfrigérante dans le condenseur.
	SURFACE refroidissante.	POIDS de l'eau réfrigérante.	
	m. c.	kilog.	parcours.
Indret.	66,5	38,9	3 et 4
Creusot.	95,0	33,3	2
Forges et chantiers de la Méditerranée.	70,0	53,3	2
La Ciotat.	120,0	55,6	1
Claparède.	110,0	60,0	1
Farcot.	81,5	55,6	2
Penn.	107,5	48,9	1
Maudslay.	70,0	60,0	2
Napier.	103,5	34,4	2
Humphrys.	97,0	43,3	2
John Elder et Cie.	77,0	36,7	3
Day et Summers.	82,0	33,3	2

Si on fait la moyenne par nombre de parcours de l'eau réfrigérante dans le condenseur, on trouve les résultats suivants :

POUR 1kg DE VAPEUR A CONDENSER dans une seconde		NOMBRE de parcours de l'eau réfrigérante dans le condenseur.
SURFACE refroidissante.	POIDS de l'eau réfrigérante.	
m. c.	kilog.	parcours.
112,5	54,8	1
85,6	44,7	2
71,7	37,8	3 et 4

On voit d'après cela, que la pratique des constructeurs consiste à augmenter à la fois le poids de l'eau de circulation et l'étendue de la surface condensante à mesure que le nombre de parcours de l'eau réfrigérante diminue. En *moyenne*, le nombre de mètres carrés de la surface réfrigérante par kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde, est sensiblement double du nombre de kilogramme d'eau de circulation.

Si on calcule dans les conditions des moyennes ci-dessus, le coefficient de conductibilité des condenseurs d'après l'égalité (4) du n° 49_3 en prenant $q = 1$, $T = 40°$, $t = 15°$ et $L = 630$ calories, on trouve :

$K = 0^{cal},267$ pour	1	parcours de l'eau	de circulation.
$K = 0\ \ ,374$ pour	2	*id.*	*id.*
$K = 0\ \ ,478$ pour	3 et 4	*id.*	*id.*

Ces résultats ne s'appliquent rigoureusement en particulier à aucun condenseur, mais ils peuvent être considérés comme de bonnes moyennes. Ils montrent clairement l'énorme différence qui existe dans la valeur du coefficient de conductibilité pratique des condenseurs suivant le nombre de parcours de l'eau de circulation.

Reprenons l'égalité (4) du n° 49_3 :

$$K = \frac{1}{B\left(\frac{T-t}{L-T} - \frac{1}{2Q}\right)}.$$

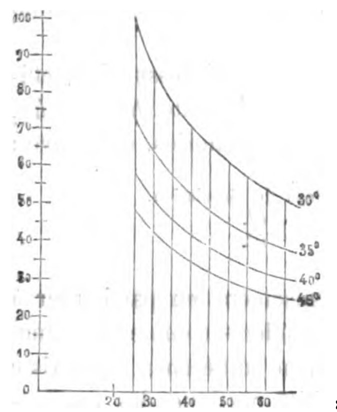
En faisant $B = 2Q$, on tire de là :

$$(1) \qquad B = \frac{L-T}{T-t}\left(1 + \frac{1}{K}\right).$$

Faisons $t = 15°$, $L = 630$ cal., et donnons successivement à T les valeurs 30°, 35°, 40° et 45°, et calculons les valeurs correspondantes de B pour diverses valeurs de K. Les résultats obtenus fourniront les éléments nécessaires pour construire les courbes de la *fig.* 20. Les valeurs de K ont été prises pour abscisses et les valeurs de $\frac{B}{2} = Q$ pour ordonnées. Ces courbes rendent bien visible, pour chacune des quatre températures données de condensation, l'accroissement rapide du poids d'eau de circulation et par suite de l'étendue de surface condensante par kilogramme de vapeur à liquéfier, à mesure que le coefficient de conductibilité pratique du condenseur diminue. On reconnaît par suite l'intérêt qu'il y a, tant au point de vue de l'encombrement, qu'au point de vue du travail absorbé par la pompe de circulation, à chercher à augmenter le plus possible ce coefficient de conductibilité. Ce résultat ne peut être obtenu que par une

bonne installation intérieure du condenseur, qui ne permette à aucune partie de la surface condensante de rester inactive par suite du non renouvellement de l'eau de circulation, et qui fasse surtout, que cette eau sorte du condenseur avec une température aussi élevée que possible.

Fig. 20, *donnant la relation entre le coefficient de conductibilité, le poids d'eau réfrigérante, l'étendue de la surface condensante et la température des condenseurs à surface.*



La chambre à eau froide, c'est-à-dire la capacité dans laquelle circule l'eau réfrigérante, doit être disposée pour obtenir ce double résultat. La partie de la capacité de cette chambre qui est formée par les tubes est déterminée par leurs dimensions et l'étendue de la surface condensante. Avec des tubes de 20 millimètres de diamètre écartés d'axe en axe de 0^m,030 à 0^m,035, le volume intérieur des tubes varie de 1/3 à 1/4 du volume occupé par le faisceau tubulaire. En y comprenant les coquilles de communication des divers groupes de tubes, le volume total de la chambre à eau froide varie de 1/2 à 1/3 du volume total du condenseur, lequel vaut de 0$^{m.cub}$,038 à 0$^{m.cub}$,030 par mètre carré de surface condensante, suivant que l'appareil de condensation est formé en deux corps ou en un seul. — Quel que soit le nombre de groupes de tubes, il importe surtout qu'il n'y ait pas un trop grand écart entre la section du tuyau d'arrivée de l'eau et la section du groupe dans lequel cette eau s'engage immédiatement, afin que l'eau puisse se diviser aussi également que possible entre tous les tubes. Jusqu'à présent le rapport de la première section à la seconde n'a pas dépassé un demi.

N° 49. De la position des tubes par rapport au plan horizontal et de leur groupement. — La forme des condenseurs à surface varie naturellement beaucoup suivant le constructeur. Les tubes sont tantôt verticaux, tantôt horizontaux, tantôt obliques. — Toutefois, les tubes ne sont verticaux ou obliques que lorsque la vapeur doit passer dans leur intérieur, et dans ce cas, l'eau réfrigérante ne fait généralement qu'un seul parcours dans le condenseur. — Les condenseurs à surface les plus usités sont composés de deux ou de trois groupes de tubes horizontaux disposés de telle sorte que la vapeur est en dehors, tandis que l'eau réfrigérante circule à l'intérieur.

La disposition avec vapeur dans les tubes offre cet avantage, que les dépôts de graisse peuvent être enlevés sans nécessiter le démontage des tubes, et seulement en passant un écouvillon dans leur intérieur. Par contre, la circulation de l'eau s'opère fort médiocrement, c'est-à-dire que le renouvellement du liquide réfrigérant ne se fait que sur une portion très-circonscrite de la surface condensante, ce qui entraîne une mauvaise utilisation de cette surface. D'un autre côté, la vapeur passe à l'état vési-

culaire par sa condensation partielle, et la veine qui pénètre dans chaque tube suivant son chemin en ligne droite, cette vapeur se dépouille difficilement de son enveloppe d'eau et se condense plus lentement. Enfin, la chambre à vapeur est plus réduite, car elle est presque limitée par les dimensions des tubes.

Avec la vapeur autour des tubes, l'étendue de la chambre à vapeur est naturellement plus grande et peut, d'ailleurs, être augmentée en écartant les tubes, sans qu'il soit nécessaire de modifier l'étendue de la surface condensante ou le volume de la chambre à eau froide. La vapeur se heurtant successivement contre les tubes qu'elle rencontre sur sa route, se dépouille plus facilement de l'eau qui l'enveloppe et se condense, par suite, plus rapidement. Enfin, la vapeur à l'extérieur des tubes permet plus facilement d'employer, à un moment donné, l'injection directe, soit pour refroidir le condenseur s'il venait à s'échauffer outre mesure, soit pour fonctionner avec la condensation par mélange en cas d'avaries des tubes. Dans ce dernier cas, en effet, l'eau d'injection est naturellement divisée par les tubes, sur l'extérieur desquels elle tombe, tandis que le contraire aurait lieu si elle était projetée dans l'intérieur de ces tubes. Il en résulte qu'un condenseur à surface, avec vapeur autour des tubes, peut être transformé instantanément, sans aucun démontage, en condenseur par mélange, ce qui ne pourrait avoir lieu si la vapeur circulait dans les tubes.

D'un autre côté, les dimensions des prises d'eau que l'on doit percer dans les flancs du navire pour puiser l'eau de circulation, de même que les diamètres des tuyaux destinés à amener cette eau de la pompe aux tubes, ne peuvent être accrus indéfiniment, et il résulte des usages de la pratique que la section de ces passages d'eau n'est guère, en général, que le cinquième ou le sixième de la section tubulaire totale. Il est hors de doute que si le tuyau d'arrivée ou de sortie aboutit, dans ces conditions, à l'ensemble du faisceau tubulaire, comme dans le cas où la vapeur est dans les tubes, la circulation ne se produit que dans une partie limitée de la chambre à eau, laissant ainsi une grande partie de la surface réfrigérante inutilisée. C'est ce qui explique la valeur considérable de l'étendue de cette surface et du volume d'eau de circulation pour ce genre de condenseur. On évite ce grave défaut en partageant le faisceau en groupes de tubes que l'eau parcourt successivement en sens inverses. Quel que soit le nombre de ces groupes, il arrive généralement que chacun d'eux présente encore une section deux fois aussi considérable que celle des tuyaux d'arrivée et de sortie, et il paraît au moins vraisemblable que l'inconvénient signalé plus haut, de laisser l'eau à l'état de stagnation dans une portion des tubes, doit encore se présenter à un degré plus ou moins élevé sur la plupart des condenseurs aujourd'hui en usage.

Le fractionnement des tubes en groupes, que l'eau parcourt successivement en sens contraires, a l'inconvénient d'augmenter le travail résistant de la pompe de circulation (n° 49_8), parce que l'eau réfrigérante perd sa force vive à chaque changement de direction, et que la pompe de cir-

culation est obligée de la prendre de nouveau au repos pour la mettre en mouvement. Mais, d'autre part, grâce à ces changements de direction de l'eau de circulation, la température s'établit uniformément dans toute la masse de cette eau, et on peut dire qu'il n'en arrive à la bâche aucune partie qui ait été moins bien utilisée que le reste; ce résultat ne serait pas obtenu si cette eau traversait un seul tube en ligne droite, car l'eau s'échauffant très-peu par conductibilité intérieure, le milieu de la veine liquide, dans chaque tube, serait toujours à une température beaucoup plus basse que la partie en contact avec la surface condensante. — Il résulte de ces explications que, pour un poids donné de vapeur à condenser à une température déterminée, le volume d'eau doit être plus faible lorsque les tubes sont partagés en plusieurs groupes que lorsqu'ils n'en forment qu'un. C'est ce que confirme, d'ailleurs, la pratique des constructeurs, ainsi que nous l'avons vu au n° 49_6. — Le fractionnement du faisceau tubulaire en groupes, amène en même temps une réduction de l'étendue de la surface condensante, parce que cette surface est mieux utilisée. Finalement, l'augmentation du travail résistant de la pompe de circulation est moins considérable.

Le nombre de groupes de tubes est généralement de deux ou de trois; il s'élève quelquefois à quatre; ce n'est que dans les cas exceptionnels que ce dernier nombre est dépassé. Malgré la réduction possible du poids d'eau de circulation, la vitesse de cette eau dans les tubes doit augmenter avec le fractionnement du faisceau tubulaire, parce que le poids de l'eau réfrigérante n'est pas inversement proportionnel au nombre de tubes. Il en résulte que la transmission de chaleur se fait moins bien et que, finalement, lorsque le nombre de groupes dépasse trois, l'étendue de la surface condensante et le poids de l'eau ne peuvent être réduits que de quantités insignifiantes, eu égard à l'augmentation du travail de la pompe de circulation.

N° 49_8 Du sens, du mode et du travail de la circulation de l'eau froide. — Considéré par rapport à la direction suivant laquelle la vapeur pénètre dans le condenseur, le courant de l'eau de circulation peut être de sens directement opposé à celui de la vapeur, ou bien le couper à angle droit. Lorsque les tubes du condenseur sont verticaux, ce qui ne se fait plus que par exception, la vapeur passe dans les tubes et l'eau de circulation qui les entoure pénètre dans la partie inférieure des faisceaux, et s'élève ensuite, pour être expulsée du condenseur par la partie supérieure. — Au point de vue de la circulation de l'eau, cette disposition a l'avantage de maintenir une différence plus uniforme de température entre les deux faces des tubes, sur les divers points de leur longueur, et, par suite, de rendre toutes les parties de la surface de chaque tube également efficace. C'est la disposition qu'il convient d'adopter si on a en vue l'abaissement de la température finale au condenseur plutôt que la rapidité de la condensation. Mais il ne faut pas oublier que cette disposition exige une très-grande section pour le conduit d'arrivée de l'eau de circulation, sous peine d'avoir un grand nombre de

tubes, vers les extrémités, pour lesquels l'eau refroidissante n'est pas renouvelée. Il conviendrait même, pour rendre la surface condensante plus efficace, de fractionner l'arrivée de l'eau, afin qu'elle fût également bien renouvelée dans toute l'étendue du condenseur.

Lorsque les tubes sont horizontaux, et généralement en plusieurs groupes que l'eau de circulation parcourt successivement et en sens inverses, la marche de l'eau refroidissante est toujours perpendiculaire à celle de la vapeur, cette dernière venant d'abord en contact avec les tubes du groupe supérieur. L'eau peut être introduite par le faisceau inférieur et être évacuée par le faisceau supérieur ou inversement. Le premier mode de circulation présente l'avantage énoncé ci-dessus, pour les cas où les tubes sont verticaux. Mais le second a l'avantage incontestable de maintenir le premier groupe tubulaire, celui avec lequel la vapeur vient immédiatement en contact, à une température beaucoup plus basse, d'où résulte une condensation plus rapide de la vapeur et, par suite, une diminution plus brusque de la contre-pression au cylindre pendant la période d'évacuation réelle.

Par ailleurs, l'eau de circulation peut être amenée par une pompe ordinaire ou bien par une pompe rotative, ou encore par une pompe centrifuge, et son mouvement dans le condenseur peut être déterminé par refoulement ou par aspiration. Enfin, la pompe de circulation peut être mue par la machine elle-même ou bien par un moteur spécial. Chacun de ces modes de mise en mouvement de l'eau de circulation a ses avantages et ses inconvénients.

Au point de vue de la dépense de vapeur, l'emploi de la machine est sans doute plus économique que celui d'un appareil auxiliaire; il est aussi plus commode sous le rapport de la surveillance du fonctionnement, attendu qu'un appareil à vapeur spécial appelé à marcher constamment exige une attention et des soins très-soutenus, et, par suite, un personnel plus nombreux et plus attentif. — Mais, d'autre part, lorsque la circulation est opérée par la machine elle-même, la quantité d'eau introduite dans le condenseur est nécessairement réglée par le nombre de tours, sans qu'il soit possible de la faire varier et de tenir compte, comme il conviendrait, de la température de cette eau et de la quantité de vapeur à condenser. Comme conséquence, la température de condensation est tantôt au-dessus, tantôt au-dessous du chiffre qui donnerait la meilleure utilisation. La différence peut même devenir très-sensible, par le seul fait d'une modification dans l'allure de la machine. En effet, pour une machine donnée, les vitesses du navire et les nombres de tours de la machine sont approximativement proportionnels aux racines cubiques des puissances développées, tandis que les quantités de vapeur dépensées sont sensiblement dans le même rapport que ces puissances. Il arrive donc forcément que la quantité d'eau envoyée au condenseur augmente beaucoup moins rapidement que la dépense de vapeur. Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que le débit des pompes est calculé pour obtenir, lors de la marche à toute puissance, la température de condensation qui

correspond à la meilleure utilisation, et qu'en fin de compte il y a toujours excès d'eau réfrigérante lorsqu'on marche à une allure moyenne ou réduite. Le maximum d'utilisation n'est plus obtenu, mais on s'en écarte beaucoup moins qu'on ne s'en écarterait si l'inverse avait lieu, c'est-à-dire si l'eau faisait défaut dans la marche à toute puissance.

D'autre part, lorsque la machine elle-même sert de moteur, on ne peut guère employer que des pompes à mouvement alternatif. Ces pompes agissent nécessairement par saccades, et, malgré l'emploi des réservoirs d'air placés aux extrémités des groupes des tubes, il en résulte, lorsque ces pompes agissent par refoulement, des chocs qui ébranlent les tubes et donnent lieu à des fuites par leur presse-étoupe. Si les pompes agissent par aspiration ces chocs sont évités, mais il se présente alors un autre inconvénient : lorsque les condenseurs sont élevés et que leur partie supérieure est presque au niveau de la mer, il se forme dans cette partie supérieure des chambres d'air très-nuisibles à la condensation.

En rendant le moteur des pompes de circulation indépendant, on devient maître de régler comme il convient, et par toutes les allures, la quantité d'eau réfrigérante pour maintenir au condenseur la température qui donne le maximum de rendement. Il en résulte, en outre, l'avantage de pouvoir faire fonctionner la pompe de circulation lorsque le navire est au repos, ce qui facilite la mise en marche de la machine au moment du départ. Subsidiairement, on peut évacuer au condenseur, pendant les temps d'arrêt, le trop-plein de vapeur aux chaudières et éviter ainsi les pertes d'eau douce, aussi bien que le bruit très-gênant qu'occasionne toujours le fonctionnement des soupapes de sûreté. — D'un autre côté, les moteurs spéciaux se prêtent parfaitement à l'emploi de pompes rotatives ou centrifuges, qu'on peut faire agir par refoulement et qui n'occasionnent que peu de vibration sur les tubes, parce que le mouvement de l'eau est continu et sensiblement uniforme. — Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, qu'en dehors de cet avantage le rendement des pompes centrifuges, pour le cas spécial qui nous occupe, est très-faible. En effet, l'eau arrive au centre de la pompe avec une certaine vitesse, dont la direction est bien différente de celle qu'elle doit prendre à sa sortie; de sorte que la force vive correspondant à cette vitesse, et qui est utilisée comme une puissance motrice dans les pompes ordinaires, est ici complétement perdue.

Sur quelques petits bâtiments, la vitesse du navire a été utilisée pour faire circuler l'eau réfrigérante dans le condenseur. Cette disposition a été appliquée, notamment par M. *Normand*, sur le petit paquebot *l'Hirondelle* (n° 22_9). Le tuyau d'arrivée est infléchi vers l'avant pour faciliter l'entrée de l'eau, tandis que celui de sortie est infléchi vers l'arrière pour faciliter son dégagement. La vitesse de circulation ainsi obtenue a été de 0,26 à 0,30 de la vitesse du navire, et le vide a été aussi bon que si l'on avait employé une pompe. Un injecteur de vapeur, placé dans l'axe du tuyau d'arrivée, permet d'établir la circulation au moment du départ ou lorsqu'on marche en arrière. — Une disposition semblable a été appliquée

par M. *Hayes* sur un grand nombre de canots de la Mersey, mais dans le but unique de liquéfier la vapeur d'évacuation pour ne pas perdre de l'eau douce, car le condenseur communique avec l'atmosphère par sa partie inférieure, et déverse naturellement l'eau dans une caisse d'alimentation.

La disposition dont il s'agit présente l'avantage de la suppression de la pompe de circulation, mais non pas du travail absorbé par l'eau réfrigérante; ce travail est, en effet, emprunté au bâtiment lui-même, au lieu d'être fourni directement par la machine ou par un moteur spécial. Elle peut donner de bons résultats sur les petits bâtiments naviguant dans les rivières, mais n'est pas recommandable pour les bâtiments de haute mer. Cette disposition exige, en effet, que l'eau n'effectue qu'un seul parcours dans le condenseur, ce qui rend ce dernier très-volumineux, et la circulation ne serait pas suffisamment assurée dès qu'il y aurait de la mer; par suite, le giffard devrait fonctionner souvent, et l'on sait que cet appareil n'est pas économique.

Calcul approximatif du travail dépensé pour la circulation de l'eau. — Les condenseurs à surface des bâtiments étant presque toujours placés au-dessous de la flottaison, il n'y a pas, en général, à élever l'eau, mais simplement à lui faire traverser l'appareil. Désignons par :

n Le nombre des groupes de tubes formant un faisceau distinct.
$p_0, p_1, \ldots, p_n$ Les pressions en kilogrammes par centimètre carré, dans les boîtes ou coquilles successives depuis l'entrée de l'eau dans le condenseur jusqu'à sa sortie.
V^{m} La vitesse de l'eau dans les tubes.
$S^{m.c}$ La section tubulaire totale; $\frac{S}{n}$ sera la section tubulaire de chaque groupe de tubes.
Q^{kg} Le poids d'eau qui traverse les tubes dans une seconde.
[illegible]$^{m.c}$ La surface condensante totale.

L'eau devant changer complétement de direction à l'extrémité de chaque parcours, la vitesse qu'elle possède en arrivant dans l'une quelconque des coquilles, doit être sensiblement annulée, puis restituée en sens contraire par la différence des pressions existant d'une coquille à l'autre. Comme tous les groupes ont même section et même longueur, on doit avoir sensiblement :

$$p_0 - p_1 = p_1 - p_2 \cdots = p_{n-1} - p_n.$$

Or, la différence de pression $p_0 - p_1$ imprime à l'eau une vitesse (n° 89, du G^d *Traité*) :

$$V = K\sqrt{20g(p_0 - p_1)}, \quad \text{d'où :} \quad (p_0 - p_1) = \frac{V^2}{20gK^2}.$$

Le coefficient K, que l'on nomme *coefficient de réduction de vitesse*, dépend de l'ajutage appliqué sur l'orifice de sortie de l'eau. Les tubes de chaque groupe peuvent être considérés comme autant d'ajutages cylin-

driques appliqués à la coquille qui leur donne l'eau de circulation. Or, on sait qu'avec cet ajutage, la valeur maximum de K est 0,82 lorsque la longueur de l'ajutage vaut de deux à trois fois son diamètre. Au delà, ce coefficient diminue à mesure que le rapport de la longueur de l'ajutage à son diamètre augmente. Cela résulte de ce que le liquide qui a obtenu sa vitesse maximum au moment de la plus grande contraction de la veine, prend ensuite une plus grande section, ce qui fait diminuer sa vitesse. De plus, si le tuyau se prolonge, l'eau éprouve sur ses parois des frottements qui gênent sa marche et diminuent encore sa vitesse. Finalement, pour une même différence de pression sur les deux extrémités du tube, la vitesse de sortie de l'eau diminue à mesure que le rapport de la longueur du tuyau à son diamètre augmente; ou bien, pour une vitesse donnée de l'eau à la sortie, la différence des pressions d'où résulte l'écoulement, est d'autant plus grande que les tubes sont plus longs par rapport à leur diamètre. Nous considérerons le cas le plus usuel où la longueur des tubes vaut 100 fois le diamètre.

Dans les expériences entreprises à *Indret* par M. *l'ingénieur Joëssel*, on a pris trois tubes de 1^m,18 de long et de 0^m,018 de diamètre, soit d'une longueur = 65,5 fois le diamètre. Ces tubes ont été disposés comme s'ils composaient les trois groupes d'un condenseur, puis on a fait passer de l'eau sous des charges de 1^m,00, 1^m,50 et 2^m,00, d'abord à travers un seul tube, ensuite à travers deux tubes, enfin à travers les trois, et on a mesuré à différentes reprises les vitesses dans chacun des neuf cas. Il est résulté de ces expériences : 1° que la colonne d'eau nécessaire pour produire une vitesse donnée est sensiblement proportionnelle au nombre de parcours, et par suite proportionnelle à la longueur totale parcourue par l'eau dans les tubes; 2° que les diverses valeurs du coefficient K ont été de 0,47 pour un parcours (L = 65,5 D), de 0,31 pour deux parcours (L = 131 D), et de 0,25 pour trois parcours (L = 196,5 D). En interpolant, on trouve que pour L = 100 D, la valeur de K = 0,42. Les expériences dont il s'agit ont été faites, il est vrai, sur une petite échelle; mais elles ont une très-grande importance parce qu'elles ont été effectuées avec les tubes mêmes des condenseurs. Les résultats concordent d'ailleurs avec ceux des expériences d'*Eytelwein* qui assignent à K une valeur de 0,46, mais qui étaient faites sur des tuyaux d'un plus grand diamètre.

Si l'eau se distribuait également dans tous les tubes, on aurait :

$$V = \frac{Qn}{1.000S};$$

mais il n'en est pas ainsi, et, d'après le n° 49_1, il existe une grande partie de la surface condensante pour laquelle l'eau ne se renouvelle pas. Il en résulte que la vitesse est augmentée dans les tubes où l'eau circule réellement. On doit donc avoir :

$$V = \frac{Qn}{1.000SK'} \quad \text{et} \quad V^2 = \frac{Q^2n^2}{1.000^2S^2K'^2}.$$

Il n'est pas possible de déterminer exactement la proportion de surface condensante inutilisée, mais on peut admettre, pour les condenseurs à trois parcours, que K′ vaut seulement 0,75, et que ce coefficient varie en raison des coefficients de conductibilité donnés à la fin du n° 49_8. On aura alors :

$$K' = 0{,}43 \text{ avec un parcours;}$$
$$K' = 0{,}54 \text{ avec deux parcours;}$$
$$K' = 0{,}75 \text{ avec trois parcours.}$$

Pour chaque groupe de tubes, le travail absorbé par l'eau de circulation est :

$$t^{km} = \frac{10.000\text{S}}{n}(p_0 - p_1)\text{V}.$$

D'où, en remplaçant $(p_0 - p_1)$ et V par les valeurs ci-dessus :

$$t^{km} = \frac{\mathbf{Q}^3 n^2}{2.000.000 g \text{S}^2 \text{K}^2 \text{K}'^3}.$$

Pour les tubes dont la longueur vaut 100 fois le diamètre, on a :

$$\text{S}^2 = \frac{1}{160.000}\mathbf{B}^2.$$

Et par suite

$$t^{km} = \frac{16\mathbf{Q}^3 n^2}{200 g \mathbf{B}^2 \text{K}^2 \text{K}'^3}.$$

En multipliant par le nombre n de parcours et en remplaçant K et K′ par leurs valeurs ci-dessus, il vient :

$$(1)\ \left\{\begin{array}{l}\text{Travail absorbé dans une seconde par la}\\ \text{circulation de l'eau dans les tubes du}\\ \text{condenseur.}\end{array}\right\}\ \text{T}^{km} = \left\{\begin{array}{l} 0{,}58\,\dfrac{\mathbf{Q}^3 n^3}{\mathbf{B}^2} \text{ avec un parcours.}\\ 0{,}29\,\dfrac{\mathbf{Q}^3 n^3}{\mathbf{B}^2} \text{ avec deux parcours.}\\ 0{,}11\,\dfrac{\mathbf{Q}^3 n^3}{\mathbf{B}^2} \text{ avec trois parcours.}\end{array}\right.$$

Ces résultats montrent, malgré la variation des coefficients numériques, combien le nombre de parcours fait augmenter le travail résistant de circulation de l'eau dans les tubes du condenseur. Pour passer de ce travail au travail moteur total dépensé par l'eau réfrigérante, il faut tenir compte : 1° du travail dépensé par suite des frottements dans les tuyaux et les coudes qui existent, tant à l'arrivée de l'eau au condenseur, qu'à la sortie de cet organe; 2° du rendement de la pompe; 3° du rendement de la machine motrice, si la pompe n'est pas conduite directement par l'appareil moteur du bâtiment.

Le travail de frottement dû aux tuyaux d'arrivée et de sortie et aux coudes qu'ils présentent ne saurait être évalué à moins de 0,25 du travail utilisé par la pompe de circulation. Quant au rendement de cette dernière, il vaut environ 0,60 du travail moteur, si cette pompe est à mouvement

alternatif, et peut être évalué à 0,30 en moyenne pour les pompes centrifuges (*). Enfin, si la pompe est conduite par un moteur spécial, ce qui est le cas général aujourd'hui, le rendement de cette petite machine ne peut être évalué au delà de 0,70, et on aura finalement, pour diviseur du travail utile, $0,75 \times 0,60 \times 0,70 = 0,315$, pour le cas d'une pompe à mouvement alternatif, et $0,75 \times 0,30 \times 0,70 = 0,175$ pour le cas d'une pompe centrifuge.

D'autre part, si nous ramenons le travail dépensé à la condensation de 1 kilogramme de vapeur dans une seconde, en remplaçant **B**, qui est la surface totale condensante, par B (n° 49_3), qui correspond à 1 kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde, et en posant $B = 2Q$, on aura approximativement pour *ce travail moteur sur les pistons absorbé par l'appareil complet de circulation et pour chaque kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde :*

(2) Pompe centrifuge avec moteur indépendant $T^{km} = \begin{cases} 0,92\,Q \text{ avec un parcours.} \\ 3,72\,Q \text{ avec deux parcours.} \\ 4,73\,Q \text{ avec trois parcours.} \end{cases}$

Appliquons à un exemple numérique, sur une machine dépensant 9 kilogrammes de vapeur par cheval et par heure, soit $\frac{9}{3.600} = 0^{kg},0025$ par cheval et par seconde. On a, d'après l'égalité (1) du n° 49_6 :

$$Q = \frac{B}{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{L-T}{T-t}\right)\left(1+\frac{1}{K}\right).$$

Soient $t = 15°$, $T = 40°$, $L = 630$ calories, et $K = 0,267$ avec un parcours, 0,374 avec deux et 0,478 avec trois (n° 49_6), il viendra :

$$Q = \begin{cases} 56^{kg},0 \text{ avec un parcours.} \\ 43^{kg},3 \text{ avec deux parcours.} \\ 36^{kg},5 \text{ avec trois parcours.} \end{cases}$$

On aura par suite :

Fraction du travail moteur sur les pistons absorbé par l'appareil complet de circulation
$$\begin{cases} 0,92 \times 56 \times \frac{0,0025}{75} = 0,00172, \text{ soit } 0,172 \text{ p. } 100 \text{ avec un parcours.} \\ 3,72 \times 43,3 \times \frac{0,0025}{75} = 0,00537, \text{ soit } 0,537 \text{ p. } 100 \text{ avec deux parcours.} \\ 4,73 \times 36,5 \times \frac{0,0025}{75} = 0,00575, \text{ soit } 0,575 \text{ p. } 100 \text{ avec trois parcours.} \end{cases}$$

(*) Il ne faut pas confondre ce coefficient de rendement avec celui de 0,8 que nous avons employé au n° 49_6 ; ce dernier étant un multiplicateur du débit *prévu* par le constructeur, tandis que le coefficient actuel, 0,30, correspond au travail utilisé. Ce coefficient peut s'élever jusqu'à 0,50 dans les meilleures pompes ; mais il peut descendre jusqu'à 0,20 dans les pompes médiocres. Cette faiblesse de rendement du travail moteur provient surtout de l'annulation de la vitesse de l'eau à son passage dans la turbine où elle change de direction (n° 56_2).

Ce résultat montre que le travail absorbé par l'appareil de circulation est sensiblement le même avec trois groupes de tubes qu'avec deux, parce que la surface condensante étant mieux utilisée, le poids de l'eau de circulation est moindre dans le premier cas que dans le second. On remarque un écart considérable de ces deux derniers cas avec celui d'un condenseur à un seul parcours. — Si la pompe était à mouvement alternatif, ce travail serait deux fois moindre. Enfin, si cette pompe à mouvement alternatif était mue directement par la machine, il faudrait multiplier par $0,5 \times 0,7 = 0,35$. Somme toute, le travail ci-dessus est assez faible; mais, en réalité, il est trois et même quatre fois plus grand que celui que nous venons de trouver, et, *d'après la pratique des constructeurs, les pompes centrifuges absorbent, avec leur moteur, de 1,5 à 2 p. 100 du travail moteur total sur les pistons.* L'infériorité du résultat que nous avons obtenu provient de ce qu'il n'a pas été possible de tenir compte des pertes énormes qui résultent de ce que l'eau est aspirée et refoulée dans une direction perpendiculaire à celle de la route, et, par suite, prise et rejetée dans un milieu animé d'une vitesse qui peut s'élever à 8^m par seconde. A cela s'ajoutent les frottements dans les conduits et dans les coudes que forment les tuyaux d'arrivée et de sortie du condenseur.

N° 49 Moyen d'accroître l'efficacité des condenseurs à surface. — Pour déterminer par quelles modifications on arriverait à améliorer les condenseurs à surface, il est nécessaire de bien se rendre compte de la manière dont les choses se passent dans les conditions actuelles. L'expérience nous apprend que lorsque l'eau pénètre dans un réservoir par un orifice et en sort par un autre, la veine liquide suit la route la moins longue à parcourir, qui est la ligne droite entre les deux orifices, de sorte que l'eau n'est pas renouvelée dans toute l'étendue du réservoir. Si l'on introduit des corps légers dans ce réservoir, on reconnaît, en effet, que dans les parties qui ne se trouvent pas sur le chemin de la veine liquide, ces corps légers sont simplement animés d'un mouvement de tournoiement. — Si l'on vient à gêner la circulation par des diaphragmes, on augmente la longueur du parcours, mais ce parcours continue à s'effectuer suivant le même principe, c'est-à-dire que la veine prend toujours le chemin le moins long, de sorte qu'il y a encore une portion de volume liquide qui n'est pas renouvelée, et qui ne fait qu'effectuer des tournoiements.

Le phénomène est plus complexe quand il s'agit d'un condenseur avec tubes divisés en plusieurs groupes; toutefois, l'analogie porte à considérer comme certain que si la section des tubes est supérieure à celle des tuyaux d'arrivée, il y aura une partie de ces tubes qui ne seront pas utilisés. Voici ce qui doit se passer : l'eau éprouve à chaque instant de son trajet, des pertes de force vive par les frottements et par les changements de direction qu'elle subit; il faut donc, pour lui restituer la vitesse voulue, qu'il existe des différences de pression d'un point à l'autre de la masse liquide, et ces différences doivent se rencontrer non-seulement quand on compare les deux extrémités d'un même groupe, mais aussi quand on

ne considère simplement qu'un des compartiments situés à l'entrée ou à la sortie d'un groupe. Il en résulte que dans la première boîte, par exemple, celle dans laquelle l'eau pénètre immédiatement, la pression doit diminuer à mesure qu'on s'éloigne du point d'aboutissement du tuyau d'arrivée; par suite, l'eau doit circuler plus rapidement dans les tubes situés près de l'extrémité de ce tuyau et moins vite dans ceux qui sont plus éloignés; il peut même se faire que la circulation soit nulle ou à peu près dans les tubes situés aux extrémités de la boîte. Il ressort de ces considérations et de la valeur du travail absorbé par la circulation de l'eau (n° 49_8), qu'il y aurait un intérêt marqué, tant au point de vue de la conductibilité et, par suite, de la réduction possible du poids du condenseur, qu'au point de vue de la réduction de la dépense de travail pour la circulation, à répartir directement et également l'eau réfrigérante entre tous les tubes, sans avoir recours à la division en groupes parcourus successivement.

Pour obtenir ce résultat, M. *Audenet* a proposé d'intercaler entre les tubes et le tuyau d'arrivée de l'eau refrigérante, un diaphragme percé de trous situés juste en regard de chacun des tubes, et présentant ensemble une section totale égale au plus à celle du tuyau, ce dernier débouchant juste à la hauteur du centre de la plaque tubulaire, pour égaliser autant que possible les trajets des filets liquides. Mais comme il existera toujours des différences dans les longueurs de ces trajets, et que ces différences de longueur entraîneront des différences de résistance, on devra les compenser par des difficultés opposées en sens inverse dans la traversée du diaphragme. A cet effet, sur le contour de ce diaphragme les trous seront percés en mince paroi; tandis qu'au contraire, à mesure qu'on approchera de la direction de l'axe du tuyau d'arrivée, on conservera une plus grande épaisseur au diaphragme, de manière à accroître la longueur et la résistance des trous. Au besoin même on pourrait, pour obtenir l'accroissement de résistance voulu, remplacer chacun des trous du centre du diaphragme par d'autres plus petits mais plus nombreux, présentant la même section totale. Une disposition semblable devra être adoptée pour la sortie des tubes, afin d'obtenir la réalisation complète de cette condition que les résistances dans tous les trajets soient absolument équivalentes pour tous les filets d'eau, et que, par suite, le liquide réfrigérant soit également réparti dans tous les tubes.

Quoiqu'on ne soit pas en mesure d'évaluer la portion non utilisée de la surface des condenseurs actuels, il est incontestable que la modification proposée par M. *Audenet* procurerait une diminution de poids et d'encombrement; mais le travail dépensé pour la circulation de l'eau conserverait sensiblement la même valeur; car si, d'une part, on peut réduire le poids total d'eau qui doit traverser le condenseur dans une seconde, d'un autre côté, la résistance opposée au mouvement de cette eau est considérablement augmentée par l'application des diaphragmes en question.

La modification qui nous occupe est parfaitement applicable à un con-

denseur dont les tubes forment deux groupes que l'eau réfrigérante parcourt successivement en sens inverses; et, tout bien considéré, il est probable qu'en pratique, c'est sur un pareil condenseur qu'elle donnerait les meilleurs résultats. — Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que si la disposition proposée par M. *Audenet* permet de répartir également l'eau dans tous les tubes, de manière qu'il n'y ait aucune portion de la surface condensante qui demeure inutilisée, il n'en existera pas moins, malgré la réduction possible de cette surface, une différence très-marquée entre la section tubulaire et la section du tuyau d'arrivée de l'eau réfrigérante. Dès lors, il se formera dans chaque tube un courant incapable d'entraîner avec la même vitesse tout le liquide que le tube renferme, et ce courant se fera surtout sentir au milieu de la veine d'eau, où la résistance est moindre. Comme le coefficient de conductibilité intérieure de l'eau est excessivement faible, pour ne pas dire nul, il est évident qu'une grande partie de cette eau traversera les tubes sans avoir subi une augmentation sensible de température, et aura été inutilement employée si elle est déversée immédiatement à la mer. Par contre, si l'ensemble des tubes forme deux groupes que l'eau parcourt en sens contraires, toute la masse liquide se mélange dans la boîte commune aux deux groupes, l'égalité de température s'y établit et l'action condensante de cette eau dans le deuxième groupe est de beaucoup supérieure à celle qu'elle pourrait posséder dans la deuxième moitié du parcours d'un groupe unique. On peut donc gagner sur la réduction du poids de l'eau de circulation et même sur la réduction de la surface condensante, en employant deux groupes de tubes au lieu d'un seul, l'équivalent de l'augmentation du travail de la pompe de circulation.

La réduction simultanée du poids de l'eau de circulation et de la surface condensante, est obtenue par quelques constructeurs anglais, en employant des tubes disposés comme ceux des chaudières *Field* (n° 61_2). Ces tubes condensent la vapeur par leur surface extérieure; ils sont fermés à l'une de leurs extrémités et sont implantés par l'autre sur une plaque de tête. D'autres tubes, plus petits, ouverts aux deux bouts, sont implantés sur une plaque de tête parallèle à la première, et pénètrent dans l'intérieur des tubes réfrigérants. L'eau de circulation arrive sur le front de la deuxième plaque de tête, passe dans les petits tubes, et revient en sens inverse par l'espace annulaire que laissent entre eux les tubes intérieurs et les tubes réfrigérants. Cette eau débouche entre les deux plaques de tête d'où elle est expulsée à la mer. Avec cette disposition, l'eau de circulation n'effectue qu'un seul parcours au contact des tubes réfrigérants, et le travail absorbé par la pompe qui la refoule correspond en réalité à deux parcours. L'avantage consiste en ce que toute la masse est bien utilisée, et que par suite son poids peut être notablement réduit, ou bien on peut obtenir une diminution correspondante de la surface condensante et par suite du volume du condenseur. On pourrait d'ailleurs économiser un parcours de l'eau de circulation, en montant les tubes réfrigérants sur deux plaques de tête, et en les faisant traverser par des axes pleins de façon à réaliser la section annulaire comme ci-dessus.

A un autre point de vue, l'efficacité du condenseur peut être augmentée par la diminution des dépôts graisseux que la vapeur dépose sur les tubes et qui réduisent rapidement leur conductibilité. L'importance de cette réduction dépend de l'abondance plus ou moins grande du graissage, et ne saurait par suite être estimée à l'avance; mais on peut s'en faire une idée par ce fait que sur les paquebots transatlantiques munis de condenseurs à surface, le vide baisse de 4 à 6 centimètres au bout d'un voyage aller et retour en Amérique, et cela, malgré l'accroissement du volume d'eau de circulation, qui est réglé par le mécanicien, les pompes étant mues par un moteur spécial. — Il y aurait évidemment intérêt à supprimer ces dépôts, qui d'ailleurs ont l'inconvénient d'être entraînés en partie avec l'eau d'alimentation dans les chaudières et d'y contribuer pour une large part aux ébullitions et aux projections. Il serait possible d'obtenir sinon la suppression complète de ces dépôts du moins leur réduction, en tirant parti, pour atteindre ce but, de la vitesse très-grande que possède la vapeur au moment où elle se précipite au condenseur. C'est en raison de cette vitesse que les particules graisseuses restent en suspension dans la vapeur, et comme elles possèdent une force vive très-appréciable, elles doivent tendre à continuer leur chemin en ligne droite dans le prolongement du tuyau qui les amène.

C'est par suite de ces considérations que M. *Audenet* propose de prolonger horizontalement le tuyau d'évacuation vers le sommet du condenseur, en lui ménageant à droite et à gauche, deux larges rues ou galeries pour le passage de la vapeur. Il est grandement probable que les matières grasses continueraient leur chemin en ligne droite et viendraient se loger dans le fond du tuyau, et finalement dans une poche attenant au condenseur et dans laquelle le tuyau d'évacuation viendrait déboucher. Comme l'eau que la vapeur tient en suspension à sa sortie du cylindre suivrait évidemment le même chemin que les matières grasses, la poche précitée devrait être mise en communication avec le condenseur au moyen d'une série de toiles métalliques capables de laisser l'eau s'écouler en retenant les graisses. — Il résulterait peut-être de la modification proposée, une légère augmentation du travail résistant du condenseur pendant la période d'évacuation réelle; mais les avantages qu'elle peut procurer sont si importants qu'il y aurait certainement une économie considérable à l'appliquer, tant au point de vue de l'augmentation de l'efficacité du condenseur qu'au point de vue de la sécurité aux chaudières.

Enfin, pour réduire à son minimum la différence de pression entre le cylindre et le condenseur, il faut que le conduit d'évacuation ne présente pas de coudes brusques, et que, de plus, ce tuyau s'épanouisse, pour ainsi dire, à son arrivée, afin que la vapeur trouve une section de passage suffisante entre les tubes. En outre, il convient de disposer l'intérieur du condenseur de telle sorte que la vapeur soit mise en contact avec toute l'étendue de la surface réfrigérante, afin qu'aucune partie de celle-ci ne demeure inutilisée. Lorsque les tubes ont une grande longueur, ce résultat ne peut être obtenu qu'au moyen d'écrans convenablement disposés. Pour

les condenseurs qui reçoivent la vapeur dans les tubes, on obtient une égale répartition du fluide à condenser et une plus grande utilisation de la surface réfrigérante, en munissant les tubes, sur la moitié inférieure de leur longueur, d'axes matériels laissant libre un espace annulaire dans lequel la vapeur doit passer pour se rendre à l'aspiration de la pompe à air.

N° 50. — 1. Comparaison entre la condensation par mélange et la condensation par surface au point de vue du travail résistant du condenseur. — 2. Comparaison au point de vue des fonctions de la pompe à air et de l'emploi d'appareils de circulation. — 3. Comparaison au point de vue de l'encombrement et du poids. — 4. Comparaison au point de vue de l'économie de combustible. — 5. Influence de la condensation par surface sur les chaudières. Résumé succinct des moyens employés pour éviter l'usure des tôles et les dépôts graisseux. — 6. Conclusions en faveur de l'emploi des condenseurs à surface.

N° 50_1 Comparaison entre la condensation par mélange et la condensation par surface au point de vue du travail résistant du condenseur. — Le travail résistant du condenseur, qu'il soit à mélange ou à surface, se calcule par l'égalité (4) du n° 46_2.

$$T^{km} = \frac{10.000\,SC}{2}\left[2fp + A(P - fp)(1 - \cos a)\right].$$

Expression dans laquelle les lettres ont les significations suivantes :

T^{km} Travail résistant du condenseur par course du piston.
$S^{m.c}$ Surface du piston.
C^m Course du piston en mètres.
P^{kg} par centimètre carré, la pression de la vapeur au commencement de l'évacuation.
p^{kg} par centimètre carré, la pression normale au condenseur.
f Rapport de la contre-pression normale au cylindre à la pression normale au condenseur.
A Coefficient dont la valeur, donnée pour quelque cas au n° 46_2, dépend de l'avance à l'évacuation.
a Avance angulaire à l'évacuation, double de l'arc décrit par la manivelle pendant la durée réelle de la condensation.

Pour une machine donnée, fonctionnant à une pression initiale et à un degré de détente déterminés, les seules quantités variables de l'expression ci-dessus sont p, a et A ; la variation de cette dernière quantité étant une conséquence de celle de a. Or, avec les appareils ordinaires d'injection par mélange, les valeurs de ces variables ne diffèrent pas sensiblement en pratique, de celles qui correspondent à la condensation par surface. Nous allons expliquer pourquoi il en est ainsi.

La pression normale au condenseur se compose de la somme de

deux termes, l'un p' est la pression de la vapeur à la température de condensation ; l'autre p'' est la pression exercée par l'air dans le condenseur. En pratique, la température de condensation est toujours plus élevée avec les condenseurs à surface qu'avec les condenseurs par mélange ; il doit par suite en être de même de la valeur de p'. Mais cet accroissement de la pression de la vapeur dans les condenseurs à surface est compensée par la diminution de la pression p'' qui est due à la présence de l'air. — Dans le condenseur par mélange, la pression p'' est due en partie à l'air qu'amène l'eau d'injection, et en partie à l'air qui pénètre dans le condenseur par les divers joints de cet organe et par ceux du cylindre. Dans les dernières machines marines à condensation par mélange, la quantité d'air qui pénètre ainsi au condenseur n'est plus que le double de celle qu'amène directement l'eau d'injection. Cela tient aux perfectionnements apportés à la confection des joints et à l'installation sur le presse-étoupe des tiges, des boîtes de graissage avec la vapeur. Dans les condenseurs à surface, la suppression de l'injection annule la moitié des rentrées d'air; et si le volume réservé aux gaz dans la pompe à air restait le même, c'est-à-dire si le volume de cette pompe n'était réduit que de la quantité correspondante à l'eau d'injection qui est supprimée, la pression de l'air dans le condenseur serait égale à $0,5\,p''$ et la pression totale au condenseur qui était $p = p' + p''$ deviendrait $p' + 0,5\,p''$.

Le poids de l'eau d'injection employée à la condensation de 1kg de vapeur étant encore de 29kg, le volume de la pompe à air réservé à l'eau est de 30 litres ; un volume égal est réservé à l'air ; le volume total est de 60 litres par kilogramme de vapeur à condenser. Ce volume peut être réduit à 31 litres par la suppression de l'eau d'injection. C'est en effet ce qui a lieu ; quelques constructeurs le réduisent à 30 litres. Dans tous les cas, le volume de la pompe qui est réservé à l'air, n'est pas sensiblement diminué, bien que la quantité d'air à extraire soit moindre. L'augmentation de vide qui résulte de cet état de choses compense largement la diminution qui peut résulter d'une température de condensation un peu plus élevée. — Il est donc rationnel d'admettre que la pression normale au condenseur a sensiblement même valeur avec les deux modes de condensation. C'est ce que confirme d'ailleurs l'expérience.

D'un autre côté, la durée de la condensation, qui est représentée par un arc double de l'avance angulaire à l'évacuation, pourrait

être notablement plus faible avec un condenseur à mélange qu'avec un condenseur à surface, si la vapeur évacuait tout d'un coup le cylindre ; et cela, non-seulement parce que le coefficient de conductibilité des tubes du condenseur à surface n'est que la moitié de celui de l'eau, mais aussi parce qu'on peut donner à l'eau d'injection une surface refroidissante notablement supérieure à celle des condenseurs tubulaires les plus volumineux. Mais, comme nous en avons déjà prévenu au n° $46_{3\text{ et }4}$, la durée de l'évacuation réelle dépend surtout de la section de l'orifice d'évacuation et de la rapidité avec laquelle cet orifice s'ouvre; les proportions des orifices sont naturellement les mêmes pour une machine donnée, quel que soit le mode de condensation, et l'infériorité du condenseur à surface, au point de vue de la durée de cette condensation, devient insensible.

Ce serait seulement dans le cas où l'on emploierait une injection intermittente, au moyen du pulvérisateur *du Fay* (n° 46_3), que le travail résistant du condenseur à mélange pourrait être réduit de 10 p. 100 (n° 46_2) et devenir inférieur d'autant à celui du condenseur à surface, ce qui procurerait une augmentation du travail effectif de 1 p. 100. Toutefois, ce résultat ne peut être obtenu qu'à la condition que l'avance à l'évacuation puisse être réduite aux 0,05 de la course, par suite de l'augmentation de la section de l'orifice d'évacuation et surtout de la rapidité de son ouverture. En pratique il faut tenir compte du mouvement du piston, et surtout de la nécessité d'éviter les chocs en assurant le changement de portage des articulations, avant l'ouverture de l'orifice d'introduction. Or, ce changement de portage est effectué par la compression dont la durée est intimement liée, avec les distributeurs ordinaires, à celle de l'avance à l'évacuation. Il en résulte que, quel que soit le mode de condensation, l'avance à l'évacuation varie peu, et que finalement on peut admettre que pour une température donnée de condensation, le travail résistant du condenseur est sensiblement le même dans les deux cas.

N° 50_2 Comparaison au point de vue des fonctions de la pompe à air et de l'emploi d'appareils de circulation. — Avec la condensation par mélange, les fonctions de la pompe à air consistent à extraire du condenseur l'eau d'injection et l'air que contient cet organe. L'eau d'injection se précipite dans le condenseur avec une certaine vitesse due à la différence qui existe entre la pression dans ce récipient et la pression atmosphérique,

augmentée de la pression de la colonne d'eau sur l'orifice d'injection. Cette eau possède au moment de son introduction, une force vive assez considérable, d'ailleurs totalement inutilisée, et dont la moitié représente exactement le travail théorique nécessaire pour l'extraire du condenseur. D'un autre côté, le travail théorique nécessité par l'extraction de l'air, est égal à celui qu'il faut dépenser pour le prendre à la pression du condenseur et le ramener par la compression, au volume qu'il occupera lorsque sa pression, augmentée de celle de la vapeur, fera équilibre à la charge qui pèse sur le clapet de tête.

Prenons un exemple; soient :

$T = 40°$ La température de condensation.
$t' = 15°$ La température initiale de l'eau d'injection.
$L = 630^{cal}$ La quantité de chaleur que peut céder 1^{kg} de vapeur condensée à zéro degré.
$h = 4^{m}$ La hauteur de la colonne d'eau sur les clapets des bâches et sur le régulateur d'injection.
$p = 11^{cm}$ de mercure. La pression du condenseur. Comme la température est de 40°, la pression de la vapeur est de 5^{cm}, et la pression de l'air, de 6^{cm} de mercure.

Le poids de l'eau d'injection réellement employé à la condensation de 1^{kg} de vapeur étant égal à 1,25 de ce qui est strictement nécessaire, on a pour valeur de ce poids d'eau d'injection :

$$\frac{630 - 40}{40 - 15} \times 1,25 = 29^{kg},6.$$

Le poids de l'eau de condensation à extraire du condenseur pour chaque kilogramme de vapeur condensée, sera de $29,6 + 1 = 30^{kg},6$. — Or la charge, par mètre carré, exercée sur les clapets des bâches vaut :

$$10.330^{kg} + 1.000^{kg} \times 4 = 14.330^{kg}.$$

La pression du condenseur, par mètre carré, vaut :

$$10.330 \times \frac{11}{76} = 1.495^{kg}.$$

Le travail absorbé pour l'extraction de l'eau du condenseur aura pour expression :

$$0^{m.cub},0306(14.330 - 1.495)^{kg} = 392^{km},8.$$

D'autre part, dans les machines actuelles, le volume de la pompe à air étant environ double de celui qui est réservé à l'eau, l'air occupe dans cette pompe un volume de $30^{l},6$ à la pression de 6^{cm} de mercure ou à la pression de :

$$\frac{10.330^{kg} \times 6}{76} = 815^{kg} \text{ par mètre carré.}$$

Cet air doit être comprimé jusqu'à ce que sa pression devienne égale à la pression qui charge les clapets de bâche diminuée de la pression de la vapeur dans le condenseur, pression qui reste constante et vaut :

$$\frac{10.330 \times 5}{76} = 679^{kg} \text{ par mètre carré.}$$

L'air doit donc atteindre une pression de :

$$14.330^{kg} - 679^{kg} = 13.651^{kg},$$

et par suite être ramené à un volume de :

$$30^{l},6 \times \frac{815}{13.651}.$$

En supposant que les diverses tensions de l'air suivent la loi de Mariotte pendant la compression, l'effort moyen correspondant au travail d'expulsion de l'air est égal à celui que produirait un volume de $30^{l},6 \times \frac{815}{13.651}$ de ce gaz, introduit à la pression de 13.651^{kg} par mètre carré, dans un volume de $0^{m.cub},0306$; or cela correspond à une introduction de $\frac{815}{13.651} = 0,06$ en nombre rond, pour laquelle l'effort moyen vaut les 0,229 de l'effort initial, soit :

$$13.651 \times 0,229 = 3.126^{kg} \text{ par mètre carré.}$$

Cet effort moyen doit être diminué de la pression de l'air au condenseur qui produit un travail moteur, soit de 815^{kg}. Le travail nécessité par l'extraction de l'air aura donc pour valeur : $0^{m.cub},0306\ (3.126 - 815) = 71^{km}$.

On aura par suite :

Travail total de la pompe à air pour 1^{kg} de vapeur à condenser $= 393^{km} + 71^{km} = 464^{km}$.

Avec le condenseur par surface, l'eau à extraire est réduite à 1^{kg}, et de plus, le clapet de bâche est moins chargé que celui de la pompe à air du condenseur à mélange. Mais, en supposant que cette charge reste la même, pour tenir compte de l'eau introduite de temps à autre au condenseur pour réparer les pertes d'alimentation, le travail d'extraction de l'eau du condenseur à surface sera alors égal à $\frac{393}{30,6} = 13^{km}$.

D'autre part, les $29^{l},6$ d'eau d'injection ont amené au condenseur $\frac{29,6}{20}$ litres d'air à la pression de 76^{cm}, qui, à la pression de 6^{cm}, ont pris dans la pompe à air une valeur égale à $\frac{29,6}{20} \times \frac{76}{6} = 18^{l},7$.

Il est donc rentré directement dans le condenseur une quantité d'air qui a occupé dans la pompe un volume de $30^{l},6 - 18^{l},7 = 11^{l},9$, et cet air doit être amené seulement à la pression atmosphérique. Mais pour tenir compte de celui qui peut entrer par les joints des tubes ou qu'amène l'eau de mer destinée à réparer les pertes d'alimentation, nous supposerons que ces $11^{l},9$ exigent proportionnellement, le même travail que les $30^{l},6$ qu'il

y avait à extraire du condenseur à mélange; ce travail vaudra alors $71^{km} \times \frac{11,9}{30,6} = 28^{km}$.

Le travail de la pompe à air du condenseur à surface sera alors de :

$$13^{km} + 28^{km} = 41^{km}$$

pour chaque kilogramme de vapeur à condenser. — En prenant 0,7 pour coefficient de rendement de la pompe, et en supposant que la dépense de vapeur soit de 9^{kg} par heure et par cheval indiqué, soit $\frac{9^k}{3.600} = 0^k,0025$ par seconde, la partie du travail moteur absorbé par la pompe à air vaudra :

$$\text{Condenseur à mélange, } \frac{464 \times 0.0025}{75 \times 0,7} = 0,022, \text{ soit } 2,2 \text{ p. } 100;$$

$$\text{Condenseur à surface, } \frac{41 \times 0,0025}{75 \times 0,7} = 0,002, \text{ soit } 0,2 \text{ p. } 100.$$

Ces résultats accusent un avantage assez marqué en faveur de la condensation par surface; mais il faut tenir compte, pour ce dernier mode de condensation, du travail absorbé par la pompe de circulation. D'après le n° 49_8, ce travail peut être estimé de 1,5 à 2 p. 100, ce qui établit à très-peu près l'égalité de travail absorbé pour le fonctionnement des deux genres de condenseurs.

N° 50_3 Comparaison au point de vue de l'encombrement et du poids. — L'encombrement et le poids des appareils de condensation par surface, rapportés au cheval indiqué, varient avec la puissance de l'appareil moteur et le nombre de corps dont ces appareils sont formés ; ils varient aussi avec la dépense de vapeur. Les condenseurs sont plus volumineux et plus lourds lorsque la détente est modérée et l'appareil de faible puissance, ou bien lorsqu'ils forment deux corps distincts. Le tableau suivant donne les résultats relevés par M. *Audenet* sur trois machines du même type mais de puissances différentes, construites par l'usine d'*Indret*, et munies de condenseurs comparables quant à la disposition intérieure. Ces résultats ne concernent que les condenseurs proprement dits, caisses, tubes et coquilles formant portes.

On voit d'après ces résultats, que la *Dives* est dans des conditions d'infériorité très-marquées, tant à cause du fractionnement de son appareil de condensation en deux corps que de sa faible puissance. — A moins que l'appareil moteur ne soit composé de deux machines distinctes et indépendantes, il est avantageux, au point de vue qui nous occupe, de n'avoir qu'un seul condenseur tant que la puissance ne dépasse pas 450 à 500 chevaux de 300 *km*.

	SUFFREN. — CONDENSEUR en deux corps.	*INFERNET.* — CONDENSEUR en un seul corps.	*DIVES.* — CONDENSEUR en deux corps.
Puissance indiquée aux essais.	4.181ch	1.784ch	617ch
Dépense de vapeur par heure et par cheval indiqué, à raison de 8kg de vapeur par kilogramme de charbon brûlé.	10kg,651	8kg,241	8kg,877
Volume du condenseur par cheval indiqué.	6dm.cub,03	5dm.cub,71	8dm.cub,17
Poids du condenseur par cheval indiqué (eau comprise).	10kg,28	9kg,56	13kg,54
Surface réfrigérante par kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde.	58m.c,10	82m.c,27	77m.c,29
Eau de circulation par kilogramme de vapeur à condenser dans une seconde.	36kg,6	48kg,2	49kg,8
Volume du condenseur par mètre carré de surface réfrigérante.	35dm.c,00	29dm.c,40	43dm.c,70
Poids du condenseur (eau comprise) par mètre carré de surface réfrigérante.	59kg,74	49kg,33	71kg,68
Rapport du volume du condenseur au volume total occupé dans le bâtiment par la machine et les chaudières.	1,6 p. 100	1,8 p. 100	2,3 p. 100
Rapport du poids du condenseur (eau comprise) au poids total de l'appareil moteur, le plein fait aux chaudières.	5,0 p. 100	4,8 p. 100	6,4 p. 110

Le poids net du condenseur a été augmenté de 8kg par mètre carré de surface condensante, pour tenir compte du poids de l'eau de circulation, savoir : 5kg dans les tubes et 3kg dans les coquilles ou dans les conduits.

La *Dives* mise de côté, on voit qu'un condenseur à surface entre à très-peu près pour 5 p. 100 dans le poids total de l'appareil, machines et chaudières, eau comprise, et prend 1,7 p. 100 de l'emplacement total réservé au moteur. Il importe de remarquer que les condenseurs dont il s'agit sont formés de trois groupes de tubes; la surface condensante et le poids de l'eau de circulation devraient être augmentés si le nombre de groupes de tubes était réduit à deux ou à un, et il en résulterait par suite une augmentation du poids et de l'encombrement du condenseur.

Dans tous les cas, les volumes et les poids des condenseurs comparables comme construction, doivent être proportionnels à l'étendue des surfaces réfrigérantes. A ce point de vue, on peut admettre les chiffres ronds suivants, pour les condenseurs avec circulation d'eau dans les tubes, la température de condensation étant d'environ 40°, et eau comprise pour le poids :

1° *Condenseur en un seul corps : poids* = 50kg *et volume* = 30dm.cub., *par mètre carré de surface réfrigérante.*

2° Condenseur en deux corps : poids = 60^{kg} et volume = 35$^{dm.cub.}$, par mètre carré de surface refrigérante.

Ces chiffres seraient plus élevés si le nombre de parcours de l'eau de circulation, au lieu d'être de *trois* était seulement de *deux*, et *a fortiori* s'il devenait égal à un, comme dans la plupart des condenseurs qui reçoivent la vapeur dans les tubes.

La comparaison au point de vue du poids et de l'encombrement entre les condenseurs à surface et les condenseurs à mélange, est une question assez complexe dont la solution exigerait qu'on fasse entrer en ligne de compte, non-seulement les poids et les volumes des organes divers de chaque condenseur, mais encore le poids de l'eau que renferment ces condenseurs et leurs organes en régime normal. Il faudrait encore tenir compte, surtout au point de vue du poids, de toutes les installations particulières inhérentes au mode de condensation par surface. — D'autre part, la comparaison qui nous occupe doit s'effectuer sur des appareils fonctionnant à un même régime de pression initiale et de détente, les condenseurs produisant le même effet, c'est-à-dire le même vide.

Il résulte de ces considérations que le seul moyen pratique d'établir la comparaison qui nous occupe, consiste à opérer sur l'ensemble de deux machines identiques. Si on se reporte aux tableaux C et C (suite), aux colonnes *Suffren* et *Valeureuse*, on voit que les machines de ces bâtiments sont précisément dans les conditions requises. Elles sont du même type et ont été construites toutes les deux par l'usine d'*Indret*. Les cylindres ont mêmes dimensions et les pistons même course. De plus elles fonctionnent au même régime de pression initiale et d'introduction. Les chaudières sont d'ailleurs du type réglementaire haut, et ont la même étendue de surface de grille et de surface de chauffe. Ces appareils diffèrent seulement sur deux points : celui du *Suffren* est muni d'un condenseur à surface et fonctionne à l'allure de 62 tours par minute, celui de la *Valeureuse* est muni d'un condenseur à mélange et fonctionne à l'allure de 51^{t},7. Cette différence d'allures provient des différences qui existent dans les dimensions des hélices. Il est rationnel de supposer que si les hélices étaient les mêmes, les deux appareils en question auraient la même puissance. — Enfin les vides aux condenseurs ont été de 63^{cm},30 avec les condenseurs à surface et de 61^{cm},1 avec le condenseur à mélange, et les vides correspondants aux cylindres détendeurs de 57^{cm},31 et 55^{cm},95, soit seulement une différence de 1^{cm},36 en faveur du con-

denseur à surface. — Les condenseurs de ces appareils sont donc comparables, et on trouverait difficilement un concours de circonstances plus favorables pour effectuer cette comparaison.

Les condenseurs à surface du *Suffren* présentent dans leur ensemble la disposition de la *sect.* 1, *pl.* IV. Les condenseurs à mélange de la *Valeureuse* présentent la disposition de la *sect.* 1, *pl.* III. Ajoutons que les figures des *sections* que nous venons de désigner sont à la même échelle, mais représentent des appareils d'une puissance moitié seulement de ceux qui nous occupent. Dans les deux cas, les condenseurs sont formés en deux corps placés aux extrémités avant et arrière des glissières, laissant les traverses à découvert. — Les condenseurs à surface munis de tous leurs organes sont plus volumineux que les condenseurs à mélange; mais c'est surtout en hauteur que l'augmentation de volume se fait sentir, ce qui n'augmente pas en somme le volume d'encombrement de l'appareil moteur. Au surplus, l'ensemble de l'appareil de condensation par surface occupe un volume très-approximativement égal à 1,3 de celui qu'occupe l'appareil de condensation par mélange.

Au point de vue des poids, l'appareil moteur du *Suffren*, eau des chaudières comprise, est de 860^{tx},000, celui de la *Valeureuse* est de 862^{tx},529. Le poids de l'eau contenue dans les divers organes des condenseurs est un peu plus élevé avec la condensation par mélange de 1^{tx},5 à 2^{tx} environ. On peut donc dire qu'il y a égalité de poids entre les appareils pendant le fonctionnement.

En résumé, la substitution des condenseurs à surface aux condenseurs à mélange n'a pas occasionné d'augmentation de poids, et l'augmentation de volume qui en est résulté s'est porté en hauteur, là où il y avait déjà de la place disponible. En somme, l'encombrement total de l'appareil n'a pas été augmenté. — On remarquera peut-être sur le tableau C (suite), que le volume occupé dans le bâtiment par la machine et les chaudières dépasse de 73$^{m.cub.}$, sur la *Valeureuse*, le même volume sur le *Suffren*. Cela tient à des dispositions différentes d'aménagement et non pas au volume proprement dit de la machine et des chaudières.

N° 50. Comparaison au point de vue de l'économie de combustible. — Jusqu'à présent nous n'avons eu à constater aucun avantage sérieux pouvant motiver la substitution du condenseur à surface, au condenseur à mélange. Nous allons comparer les

deux modes de condensation au point de vue de la dépense du combustible.

Les sels contenus dans l'eau de mer (n° 170 du *Gd Traité*) ne permettent pas de dépasser la pression de 3at absolues aux chaudières; il en résulte que la détente est forcément limitée; aussi n'a-t-elle jamais été poussée, avec le condenseur à mélange, et pour la marche à toute puissance, au delà de deux fois et demi le volume de la vapeur introduite au cylindre. — L'emploi des condenseurs à surface a permis d'augmenter la pression aux chaudières et de porter l'expansion de la vapeur de 6 à 9 fois son volume et d'obtenir par suite, un travail beaucoup plus grand du même poids de vapeur.

En admettant même que la pression absolue aux chaudières et le degré de détente ne changent pas, l'emploi du condenseur à surface fait réaliser une économie notable. — A la pression maximum de 3at qu'on peut à peine atteindre, les extractions (n° 172, du *Gd Traité*) absorbent au bas mot 6 p. 100 du poids total du combustible mis sur la grille, et cela en maintenant la concentration à 0,105 (3° *du salinomètre*), car cette dépense augmente rapidement à mesure que le degré de concentration diminue. Malgré cette énorme perte de combustible, les parois intérieures des chaudières s'incrustent de sulfate de chaux et le coefficient de conductibilité du métal diminue rapidement, d'où, au bout de peu de temps, une nouvelle cause de perte dont l'importance atteint souvent, quand elle ne la dépasse pas, celle de la dépense occasionnée par les extractions. Les condenseurs à surface ne suppriment pas d'une manière absolue les dépôts salins et par suite les extractions, puisque la pratique est maintenant de réparer les pertes d'alimentation avec l'eau de la mer; mais les extractions ne se font plus qu'à de rares intervalles, et les dépôts salins ne s'accroissent qu'en raison de la nouvelle quantité d'eau de mer introduite dans les générateurs, quantité relativement très-faible dans les nouveaux appareils, en raison de la perfection du travail de construction. Il est bien évident que la perte de combustible qui résulte, avec la condensation par mélange, de la diminution rapide du coefficient de conductibilité du métal des chaudières, est ici réduit dans de très-grandes proportions. On peut admettre, sans crainte d'exagération, que le bénéfice qui résulte de ce chiffre, compense largement la dépense occasionnée par les rares extractions qu'on est encore obligé de pratiquer. — On pourrait objecter que si

les dépôts salins sont diminués, ces dépôts sont remplacés par des résidus qu'apporte l'eau d'alimentation et dont le coefficient de conductibilité n'est guère supérieur à celui du sel. Cela est vrai, mais seulement pour certains points particuliers de la chaudière où la circulation ne se fait pas bien; ces dépôts sont d'ailleurs loin d'acquérir, sauf le cas d'une *négligence impardonnable*, le volume et l'importance des énormes masses de sel qui maçonnaient les tubes le long des plaques de tête et surtout du côté de la boîte à feu. Ajoutons que les améliorations apportées à la construction comme à la conduite des condenseurs, permettent d'éviter la plus grande partie de ces dépôts. — Finalement, on peut estimer que, pour la même pression et le même degré de détente, l'emploi de la condensation par surface fait bénéficier de 6 p. 100 du poids de combustible brûlé, et qu'on dépense pour les extractions avec les condenseurs à mélange.

Ceci admis, nous allons rendre compte de l'avantage réel de la condensation par surface sur la condensation par mélange. Supposons une machine fonctionnant avec ce dernier mode de condensation et dépensant 9^{kg} de vapeur par heure et par cheval indiqué.

D'après le n° 50_2, le travail absorbé par le fonctionnement de la pompe à air vaut 2,2 p. 100 du travail sur les pistons; il reste donc disponible pour la propulsion, $75^{km}(1{,}00-0{,}022)=73^{km}{,}35$ par cheval indiqué.

Chaque kilogramme de charbon fournit 8 kilogrammes de vapeur. Le nombre P de kilogrammes de charbon à brûler par heure et par cheval indiqué, se déduira de l'égalité : $8^{kg}\times P(1-0{,}06)=9^k$; d'où $P=1^{kg}{,}2$.

Le coût par cheval effectif disponible pour la propulsion sera de :
$$\frac{1^{kg}{,}2\times 75}{73{,}35}=1^{kg}{,}227.$$

Substituons la condensation par surface à la condensation par mélange, en maintenant la même température de condensation, 40° par exemple. Supposons que par suite de l'emploi d'un appareil moteur spécial pour la pompe de circulation, le travail absorbé par la pompe à air et la pompe à eau froide s'élève à 3 p. 100 du travail moteur, chiffre qui est raremen atteint (n° 49_6). Il ne restera de disponible pour la propulsion que : $75^{km}(1-0{,}03)=72^{km}{,}75$.

Le poids P′ de charbon à brûler par heure et par cheval indiqué vaut
$$P'=\frac{9^{kg}}{8}=1^{kg}{,}125.$$

Et le coût par cheval effectif disponible pour la propulsion sera de :
$$\frac{1^{kg}{,}125\times 75}{72{,}75}=1^{kg}{,}160.$$

Il en résulte que, pour la même puissance propulsive, l'économie résul-

tant de l'emploi du condenseur à surface sera de : $\frac{1,227-1,160}{1,227}=0,054$, soit de 5 p. 100.

Cette économie déjà notable, peut encore être accrue par l'élévation de pression et l'augmentation du degré de détente. En pratique, le résultat que nous venons de signaler est largement dépassé. On n'a, pour s'en convaincre, qu'à jeter un coup d'œil sur le tableau C (suite), à l'article *Consommation de charbon* par cheval indiqué.

Citons quelques exemples :

1° Le *Marengo* et la *Valeureuse*, nantis de machines et de chaudières identiques, fonctionnant au même degré d'introduction et à la même pression initiale. L'économie par *cheval indiqué*, réalisée par l'emploi du condenseur à surface est exprimée par $\frac{1,430-1,332}{1,430}=0,07$, soit 7 p. 100.

2° La *Jeanne d'Arc* et le *Sané*, nantis de machines semblables et de même puissance, mais fonctionnant à des introductions et à des pressions un peu différentes. L'économie par *cheval indiqué*, réalisée tant par l'élévation de pression (de $3^{at},00$ à $3^{at},18$) que par l'augmentation du degré de détente (introduction diminuée de 0,45 à 0,39), et par l'emploi du condenseur à surface est exprimée par : $\frac{1,220-1,010}{1,220}=0,17$, soit 17 p. 100.

3° La *Thétis* et le *Seignelay*, nantis de machines de même puissance et construites par la même usine, différant surtout par la pression initiale ($2^{at},75$ et $5^{at},00$) et par l'introduction (0,44 et 0,17). L'économie par *cheval indiqué*, réalisée par l'emploi de la condensation par surface, d'une pression plus élevée et d'une détente prolongée est exprimée par $\frac{1,458-0,901}{1,458}$ $=0,38$, soit 38 p. 100.

En présence de ces résultats, la plus ou moins grande quantité de travail que peut nécessiter le fonctionnement de la pompe de circulation, devient une question tout à fait secondaire.

N° 50. Influence de la condensation par surface sur les chaudières. Résumé succinct des moyens employés pour éviter l'usure des tôles et les dépôts graisseux. — L'emploi de la condensation par surface n'est pas sans inconvénients au point de vue de la conduite des chaudières, et il n'y a pas encore longtemps qu'elle était une cause de détérioration rapide des générateurs.

Les corps gras employés au lubrifiage, mélangés aux parcelles de métal que l'usure enlève aux organes intérieurs de la machine, pénètrent d'abord dans le condenseur avec la vapeur et sont ensuite emportés aux chaudières par l'eau d'alimentation. Là, ils occasionnent d'abord, suivant leur état plus ou moins grand d'impureté, des

ébullitions plus ou moins fréquentes et plus ou moins tumultueuses, qui peuvent déterminer des entraînements d'eau aux cylindres. — D'un autre côté, les résidus peuvent s'accumuler dans les parties inférieures de la chaudière, où la circulation se fait le moins bien. Cet effet peut surtout se produire sur les ciels de foyer, près de la boîte à feu.

L'usure rapide des chaudières alimentées à l'eau douce provenant d'un condenseur à surface, a d'abord été attribuée à la présence de parcelles de cuivre enlevées par cette eau aux tubes du condenseur, et portées dans les chaudières où elles formaient autant de piles galvaniques. La manière dont les tôles des chaudières étaient piquées et même percées sur certains points, donnaient à cette opinion un certain crédit. Plus tard, on attribua cette prompte détérioration aux acides des corps gras mélangés à l'eau et qui, devenant libres sous l'influence de la température élevée des chaudières, attaquaient vivement le métal. Leur action ne se faisait pas sentir d'une manière uniforme sur toute l'étendue des tôles, comme pourrait le faire toute la masse d'eau si elle était suffisamment acide, mais par places, ce qui tendrait à prouver que ces acides ne se dissolvent pas dans l'eau des générateurs. Les tôles situées à la hauteur du niveau et dont une partie de la surface est alternativement couverte et découverte par le liquide, étaient plus particulièrement attaquées par les acides en question.

Enfin, une nouvelle explication du phénomène vient d'être publiée par M. *Isherwood*, ingénieur en chef de la marine des États-Unis. D'après une analyse minutieuse faite dans le laboratoire naval de *New-York*, la rapide corrosion des chaudières à bord des navires munis de condenseurs à surface, est causée par un oléate de cuivre qui se forme dans le condenseur, d'où il passe dans le générateur avec l'eau d'alimentation. Là, il se transforme peu à peu en oléate de fer, absorbant le fer des différentes parties du générateur avec lesquelles il se trouve en contact, et précipitant son cuivre. L'oléate de cuivre adhérant au fer dans les conditions de haute température, la précipitation du cuivre et l'absorption du fer commencent presque aussitôt l'introduction des corps gras dans la chaudière.

Quel que soit l'agent réel de destruction, on est parvenu à prévenir ses effets par l'emploi de l'eau de mer qui sert à réparer les pertes d'alimentation. On arrive par ce moyen à former sur les surfaces de chauffe, une légère couche de dépôt salin qui, par lui-même, n'a

aucune action sur les tôles et qui les préserve du contact de l'eau et par suite de tout agent destructeur. D'un autre côté, l'action des acides est notablement diminuée sinon complétement annulée, par l'emploi du bicarbonate de soude introduit dans le condenseur après l'avoir fait dissoudre dans l'eau, et qui a pour effet de saponifier les graisses en absorbant leurs acides. On dépense ainsi de 5 à 6 grammes de bicarbonate de soude par heure et par cheval indiqué. — Les bâches à eau douce où puisent les pompes alimentaires sont munies de robinets purgeurs au moyen desquels on les débarrasse de l'eau brune, graisseuse et mousseuse, dont elles se remplissent. — Enfin, on pratique des extractions intermittentes à la hauteur du niveau de l'eau dans les chaudières, pour expulser les graisses qui se portent naturellement vers ce niveau. — Quant aux dépôts que les corps gras ou les résidus qu'ils entraînent peuvent former dans certaines parties des chaudières, il est évident qu'après avoir pris les dispositions nécessaires pour assurer la circulation de l'eau dans toutes les parties du générateur, le nettoyage à la main peut seul les faire disparaître quand ils sont formés.

L'emploi des condenseurs à surface permettant d'élever la pression aux générateurs, la surchauffe devient moins utile et pourrait même être nuisible, en occasionnant la décomposition des matières lubrifiantes dès leur entrée dans le cylindre. La vapeur doit donc être employée à l'état saturée ou avec un très-léger degré de surchauffe et le lubrifiage doit être réduit au strict nécessaire. Le suif doit être remplacé par l'huile pour le graissage intérieur des tiroirs et des cylindres. Les bâtiments de la marine anglaise n'emploient plus depuis quelque temps que de l'huile minérale dite de *crane*, on en injecte même directement dans les chaudières en cas de fortes ébullitions; les extractions à hauteur du niveau sont alors supprimées.

Ajoutons pour terminer que MM. *Hétet* et *Risbec* ont imaginé et réalisé un système de dégraissage de l'eau d'alimentation au moyen d'un lait de chaux (n° 75_2), qui a donné jusqu'à présent de très-bons résultats et qui permet d'espérer que la question si importante de la conservation des chaudières est définitivement résolue. — L'emploi du lait de chaux est rendu, depuis peu, réglementaire dans la marine française.

N° 50_6 Conclusions en faveur de l'emploi des condenseurs à surface. — De tout ce qui vient d'être dit aux divers arti-

cles du présent numéro, il résulte que l'emploi des condenseurs à surface est non-seulement avantageux, mais encore indispensable pour obtenir le maximum du rendement économique que peuvent atteindre les machines à vapeur. Ainsi que nous l'avons montré au n° 50_4, l'économie de combustible déjà obtenue par l'élévation de la pression absolue aux chaudières et l'emploi de détentes prolongées, est si considérable, que les quelques inconvénients résultant, pour la conduite des chaudières, de l'emploi de la condensation par surface, ne sauraient entrer sérieusement en ligne de compte. Le seul fait de la détérioration rapide des chaudières alimentées à l'eau douce chargée de graisses enlevées au condenseur, pouvait annuler en principe l'économie résultant de la condensation par surface. Mais cet inconvénient n'existe plus et actuellement, dans les appareils moteurs bien construits et conduits avec intelligence, les chaudières ne demandent guère plus d'attention et de soin que lors de la condensation par mélange. — La marche toujours continue du progrès conduira peu à peu à la suppression des petits inconvénients qui se présentent encore et qui, dans la pratique, tiennent beaucoup à ce que ces condenseurs sont d'une application toute récente.

La seule objection sérieuse, dans l'état actuel de la construction des condenseurs avec circulation d'eau à l'intérieur des tubes, repose sur la diminution de la conductibilité pratique de ces organes, pendant les longues traversées, et sur le travail considérable que nécessite le démontage de plusieurs milliers de tubes, toutes les fois qu'il faut effectuer un nettoyage complet du condenseur. — Cet inconvénient n'a pas empêché les grandes compagnies de navigation, qui sont certainement les meilleurs juges dans la question, d'adopter le mode de condensation par surface, et de le maintenir sur tous leurs paquebots. C'est qu'en définitive, avec un service d'entretien bien réglé, l'économie qui résulte de ce mode de condensation demeure toujours considérable.

N° 51. — 1. Dispositions récentes des pompes à air, de leurs pistons et de leurs presse-étoupe. — 2. Remarques relatives aux tuyaux et robinets de décharge. — 3. Des appareils de circulation en général pour condenseurs à surface. — 4. Description et théorie des pompes centrifuges ordinaires. — 5. Description et théorie des pompes hélicoïdes-centrifuges Coignard.

N° 51_1 Dispositions récentes des pompes à air, de leurs pistons et de leurs presse-étoupe. — Les pompes à

air, généralement employées aujourd'hui pour les machines horizontales, sont à double effet et de système dit à piston-plongeur, comme on le voit en *sect.* 2 et 3, *pl.* I, en *sect.* 2, *pl.* III et en *sect.* 1, *pl.* IV. — Le cylindre proprement dit de la pompe, se réduit à une simple garniture, le plus souvent en bois de gaïac, dans laquelle se meut le piston. Ce dernier est un cylindre très-allongé, creux, mais fermé à ses deux extrémités. Les détails de construction que comporte cette disposition se remarquent principalement sur la *fig.* 2, *sect.* 3, *pl.* I et sur la *fig.* 3, *sect.* 2, *pl.* III. Le bois de gaïac qui forme la garniture est coupé en languettes, taillées suivant de petites fractions de couronne, comme on le voit *fig.* 3, *sect.* 2, *pl.* IV, et placées côte à côte, de manière à former une couronne complète. Cette garniture est dans l'intérieur d'une nervure circulaire, qui constitue le cylindre proprement dit, et est maintenue en place au moyen de deux rondelles de bronze, fixées par de longs boulons qui traversent ces rondelles et la nervure. Ajoutons que les angles intérieurs des languettes sont légèrement abattus, ce qui fait qu'entre le piston et chaque ligne de jonction des languettes de gaïac se trouve une petite rigole dans laquelle l'eau pénètre. Cette disposition assure une lubrification suffisante de la garniture. Dans quelques appareils, tels que ceux des *Chantiers et ateliers de l'Océan*, *sect.* 2, *pl.* I, la garniture de gaïac est remplacée par des demi-coussinets en antifriction.

Le piston est toujours en bronze. Sa tige est massive et également en bronze, comme sur la *sect.* 2, *pl.* I, porte d'un côté une embase conique, et est serrée sur une douille intérieure du piston, par un écrou et un contre-écrou. Cette douille est liée au piston par des nervures intérieures et par des troncs de cône rentrants qui interceptent toute communication, soit entre les deux compartiments de la capacité de la pompe à air, soit entre ces compartiments et l'intérieur du piston. L'usine du *Creusot* emploie des tiges en acier (*fig.* 3, *sect.* 2, *pl.* III), fixées par une embase cylindrique et un écrou au disque de fermeture en abord du piston. Cette tige passe dans l'intérieur d'un fourreau qui fait partie du plateau antérieur du piston, lequel fourreau traverse le presse-étoupe et vient appuyer contre la douille de la crosse de la pompe à air. Le serrage de la tige en acier sur cette crosse opère en même temps le joint des deux disques qui forment le piston de la pompe à air. — Dans les machines construites par *Indret* et par les *Forges et chantiers de la Méditerranée*, le plateau antérieur est de la même coulée que le piston, et c'est sur lui que se fixe, au moyen d'une embase extérieure, d'un écrou et d'un contre-écrou intérieurs, la tige, qui est massive et en bronze. Le fond d'en abord du piston est une simple rondelle, rapportée au moyen de vis sur une collerette intérieure de ce piston.

Tous les presse-étoupe de tige de piston de pompe à air portent actuellement, outre une boîte à graisse, une chambre à eau placée entre deux couches d'étoupe et mise en communication avec la bâche. On prévient par cette disposition toute rentrée d'air par le presse-étoupe, et lorsqu'il se produit quelques fuites, le seul inconvénient, d'ailleurs insignifiant,

qui en résulte, consiste dans l'introduction d'une petite quantité d'eau de la bâche dans la pompe à air, pendant que cette pompe aspire du côté du presse-étoupe de sa tige.

Tous les clapets sont généralement circulaires et en caoutchouc. Toutefois, on rencontre encore quelques appareils, notamment ceux des *Forges et chantiers de la Méditerranée*, dans lesquels les clapets de bâche sont rectangulaires. Dans tous les cas, le siége de ces clapets de bâche est toujours horizontal. Les clapets de pied ou d'aspiration ont, le plus souvent, leur siége vertical et sont toujours placés sur au moins deux rangées horizontales; c'est la disposition généralement adoptée dans les nouvelles machines. Sur quelques appareils moins récents, on rencontre des clapets d'aspiration dont le siége est incliné, comme dans le type des *Forges et chantiers de la Méditerranée*, représenté en *sect.* 3, *pl.* III. Sur d'autres appareils, comme dans le type du *Creusot*, représenté en *sect.* 2 de la même planche, les clapets d'aspiration sont fractionnés en deux séries, l'une horizontale, l'autre verticale.

Dans les machines à pilon, les pompes à air sont aspirantes élévatoires, comme en *sect.* 1, *pl.* I et en *sect.* 2, 3 et 4, *pl.* II. Cette disposition est imposée par le système de transmission de mouvement presque universellement adopté pour les pompes à air de ces machines, et qui se fait au moyen de balanciers horizontaux, actionnés à une de leurs extrémités par la traverse du piston et menant la pompe à air par l'autre extrémité. Les clapets sont toujours en caoutchouc; le plan des clapets de pied est tantôt vertical, tantôt horizontal. Au demeurant, ces pompes ne diffèrent pas sensiblement de celles qui sont depuis longtemps usitées.

Le système des pompes à air dit à piston-plongeur, présente certains avantages que nous allons énumérer. Reportons-nous à la *fig.* 6 de la *sect.* 1, *pl.* III, qui représente une pompe à air du système anciennement employé, sauf l'adjonction de la série verticale des clapets d'aspiration. On remarque que le piston, marchant, par exemple, dans le sens de la flèche, l'eau aspirée par le piston suit son mouvement et pénètre à sa suite dans l'intérieur du cylindre de la pompe, d'où elle sera expulsée et envoyée dans la bâche lors du retour du piston. Or, cette eau a dû d'abord monter verticalement à travers les clapets d'aspiration, et avec une certaine vitesse résultant de la différence des pressions qui agissent sur ces clapets. Cette eau possède donc une certaine force vive, en vertu de laquelle elle tend à continuer son mouvement vertical. Le changement de direction à angle droit qu'elle subit pour pénétrer dans la pompe à air lui fait perdre la force vive qu'elle possédait et lui en imprime une nouvelle dans la direction de l'axe de la pompe, et qui sera annulée à son tour dès que le piston s'arrêtera. Pendant ce retour, l'eau prendra une nouvelle vitesse dans le sens de l'axe du cylindre, mais en sens contraire de la première; le piston lui imprimera donc une nouvelle force vive, qui sera de nouveau détruite quand cette eau changera brusquement de direction à angle droit, à sa sortie du cylindre de la pompe, pour monter verticalement vers les clapets de bâche. Il résulte de toutes ces circonstances une

perte notable de travail moteur, par suite de l'annulation successive de ces forces vives de directions différentes qui sont communiquées à l'eau. D'autre part, pendant l'aspiration, le changement brusque de direction de l'eau met cette dernière en retard sur le piston, de sorte qu'une partie du volume engendré par cet organe est inutilisé.

Dans le système à piston plongeur (*fig.* 4, *sect.* 2, *pl.* III), l'eau n'a pas à changer de direction. Elle s'élève verticalement des clapets d'aspiration aux clapets de bâche, en venant occuper le volume que le piston laisse libre entre ces deux séries de clapets. Les pertes de travail moteur résultant, dans les pompes ordinaires, de la communication et de l'annulation successive des forces vives imprimées à l'eau dans des directions différentes est ici évitée. Il en est de même de la perte de volume de la pompe qui résulte, dans les pompes ordinaires, du retard que subit l'eau.

L'adjonction de la série verticale de clapets d'aspiration, que l'on remarque sur la figure précédente, a pour effet de faciliter la sortie des gaz du condenseur. En effet, si la série horizontale des clapets d'aspiration existait seule, le niveau de l'eau dans le condenseur devrait baisser jusqu'à la hauteur de ces clapets pour permettre à l'air de sortir; tandis qu'il suffit que ce niveau baisse jusqu'à la hauteur du clapet supérieur de la série verticale pour que l'air évacue le condenseur. Si la distance verticale entre ce dernier clapet et la série inférieure est seulement de $0^m,50$, il en résulte une diminution de 4^{cm} dans la différence des pressions qui agissent sur le clapet d'aspiration au moment où l'air sort du condenseur et, par suite, une augmentation égale du vide à ce moment.

Nous ferons une remarque très-importante et qui s'applique surtout aux pompes à air qui desservent un condenseur par surface, parce que la quantité d'eau qu'elles doivent extraire à chaque coup de piston est alors très-faible. A chaque bout de la pompe à air, le volume compris entre le siége des clapets de bâche et l'horizontale qui passe par la génératrice supérieure du piston ne doit pas être moindre que le volume d'aspiration du piston dans une course. La réalisation de cette condition est nécessaire pour assurer en tout temps le bon fonctionnement de la pompe à air. Il ne faut pas oublier, en effet, que la garniture, en antifriction ou en gaïac, dans laquelle se meut le piston, n'est pas rigoureusement étanche. Elle l'est suffisamment pour l'eau tant que le piston est en marche, mais ne le serait pas pour l'air. Si le niveau de l'eau baissait jusqu'à découvrir une partie de cette garniture, l'air, refoulé par un des bouts du piston, passerait en partie de l'autre côté de la pompe et y augmenterait la pression; le vide diminuerait par suite dans le condenseur.

Le volume de la pompe à air d'un condenseur à surface peut être plus faible que celui de la pompe à air d'un condenseur par mélange, en raison de l'eau d'injection qui n'est pas à extraire par cette pompe avec les premiers condenseurs. Toutefois, en pratique, le volume de cette pompe est peu réduit, afin qu'elle puisse parer aux éventualités de fortes fuites par les joints des tubes, et même afin qu'elle puisse faire le travail, pour le cas où le condenseur serait employé par injection. La pompe à air est,

par suite, trop grande dans les circonstances ordinaires, ce qui occasionne un surcroît permanent de dépense du travail moteur. Mais c'est une bonne précaution, surtout pour les navires de guerre, qui doivent pouvoir obtenir toute leur vitesse à un moment donné, car il est possible, en cas d'insuffisance du vide, d'activer et de compléter la condensation au moyen de l'injection directe. C'est moins utile pour les bâtiments de commerce, qui peuvent marcher sans inconvénient avec un vide diminué.

N° 51_2 Remarques relatives aux tuyaux et robinets de décharge. — Au point de vue de la solidité des navires et de la diminution des chances d'avaries, il importe de restreindre le plus possible les sections des trous percés dans les murailles, pour les passages d'eau. D'un autre côté, la section des tuyaux et robinets de décharge doit être calculée de manière à ne pas déterminer une augmentation considérable du travail de refoulement de la pompe correspondante. La règle en vigueur dans la marine militaire depuis 1867, consiste à donner aux tuyaux et aux orifices des robinets de décharge de pompe à air à double effet, une section égale au quart de la surface du piston. Cette règle est rigoureusement exacte, si l'on suppose les vitesses du piston constantes pour toutes les machines, ce qui est sensiblement vrai pour les appareils munis de condenseurs à mélange construits depuis cette époque, et dans lesquels la vitesse des pistons oscille entre 2^{m},30 et 2^{m},40 par seconde. Toutefois, pour les machines de moindre puissance, la vitesse du piston est un peu plus faible, 2 mètres à 2^{m},05, mais il n'y a pas d'inconvénient à ce que, pour ces appareils, les orifices de décharge aient une section un peu plus grande que ne l'exigerait une proportionnalité rigoureuse. La règle en question ne s'applique qu'aux pompes à air qui desservent des condenseurs par mélange. Pour les condenseurs à surface, les tuyaux et robinets de décharge accidentelle peuvent avoir une section beaucoup moindre. Toutefois, si l'on veut se réserver la possibilité de fonctionner, au moins en partie, avec la condensation par mélange, dans le cas d'avaries graves survenues aux tubes du condenseur, la règle précédente doit être appliquée. — Dans tous les cas, les brides d'attache des robinets de décharge avec la muraille du bâtiment sont conservées très-grandes, car la solidité de cette attache est d'une importance capitale. Les collerettes sont d'ailleurs munies de contre-forts qui augmentent et consolident leur liaison avec le corps intérieur du robinet.

Pour les pompes de circulation à mouvement alternatif des condenseurs à surface, la section des tuyaux et des orifices des robinets de prise d'eau et de décharge est toujours supérieure à la surface du piston. Cette section varie suivant les constructeurs, de 1,25 à 1,75 de cette surface. Des proportions aussi larges sont nécessaires, du côté de l'aspiration pour assurer à la pompe un rendement suffisant, et du côté du refoulement pour ne pas déterminer une trop forte pression sur les tubes du condenseur ou dans les coquilles de la chambre à eau.

N° 51_3 Des appareils de circulation en général pour condenseurs à surface. — Les appareils qui déterminent le

mouvement de l'eau réfrigérante dans les condenseurs à surface, sont des pompes à mouvement alternatif, ou bien des pompes centrifuges, ou encore des pompes rotatives. Les pompes à mouvement alternatif sont généralement conduites par la machine elle-même; on rencontre cependant quelques appareils où elles ont un moteur spécial. Les pompes rotatives et les pompes centrifuges sont presque toujours actionnées par une petite machine auxiliaire indépendante de l'appareil moteur.

Les pompes à mouvement alternatif agissent presque toujours par refoulement, et sont le plus souvent du système dit à piston plongeur. Les machines dont le type est représenté en *sect.* 2, *pl.* IV, sont les seules dans lesquelles les pompes de circulation agissent par aspiration. Ce système ne s'est pas répandu, en raison des inconvénients qui résultent de la formation des chambres d'air dans le sommet de la chambre à eau, et de la température élevée que prennent alors les tubes correspondants. Le seul inconvénient que présentent les pompes à mouvement alternatif agissant par refoulement, consiste dans les vibrations que chaque coup de piston détermine dans le faisceau tubulaire, vibrations très-nuisibles à l'étanchéité des joints des tubes. Il résulte même de ce mode d'action, une fatigue des portes du condenseur qui forment les coquilles, surtout lorsque les réservoirs d'air n'ont qu'une capacité restreinte. Cet inconvénient est moindre avec les pompes centrifuges et les pompes rotatives, parce que le refoulement de ces pompes est continu; toutefois le refoulement des pompes rotatives, quoique plus régulier que celui des pompes à mouvement alternatif, n'est pas uniforme; il y a encore avec ces pompes des intermittences qui font sentir leur action sur le condenseur; d'autant plus que l'eau refoulée par les pistons doit pénétrer quand même dans les tubes, comme avec les pompes ordinaires, si la machine motrice est assez puissante. — Les pompes centrifuges déterminent dans la chambre à eau une tension moyenne constante qui augmente avec l'allure de la machine motrice, mais qui a une limite supérieure qu'elle ne peut dépasser.

Ajoutons que quelques constructeurs anglais, et *Penn* notamment, emploient deux pompes centrifuges pour chaque condenseur; l'une agit par refoulement et l'autre par aspiration. Cette disposition présente l'avantage de maintenir une pression moindre dans la chambre à eau du condenseur; car cette pression est tout au moins

diminuée de celle qui correspond à la colonne d'eau refoulée par la pompe de circulation qui aspire dans cet organe. Il en résulte aussi un meilleur rendement des pompes, car la pression à laquelle chacune d'elle refoule est beaucoup moindre que celle à laquelle refoulerait une pompe unique. — Les dimensions de ces pompes peuvent par suite être diminuées. Par contre, le travail moteur absorbé pour le fonctionnement des deux pompes est supérieur à celui que nécessiterait le fonctionnement d'une pompe unique, et le seul bénéfice probable de l'emploi de deux pompes se borne à la diminution de pression dans la chambre à eau du condenseur.

Les pompes ordinaires à mouvement alternatif ont un rendement en volume assez élevé, qu'on peut estimer à 0,8. Elles utilisent en moyenne les 0,75 du travail moteur qui leur est affecté, lorsqu'elles sont directement actionnées par les pistons moteurs, comme dans les machines horizontales à bielle renversée. Il n'en est pas de même des pompes centrifuges dont le coefficient de rendement est très-faible, et qui n'utilisent souvent que 25 à 30 p. 100 du travail moteur affecté à leur fonctionnement.

Les appareils de circulation mus par la machine elle-même, ont l'inconvénient de cesser de fonctionner dès que cette machine est stoppée : si on veut alors envoyer aux condenseurs l'évacuation des petits chevaux qui fonctionnent pour l'alimentation, ou l'excès de vapeur aux chaudières, afin de perdre le moins possible d'eau douce, il faut faire refouler la pompe d'un des petits chevaux dans la chambre à eau du condenseur. — Les appareils de circulation actionnés par un moteur indépendant de la machine, peuvent continuer de fonctionner pendant les temps d'arrêt. Ils permettent en outre de régler la quantité d'eau de circulation d'après la température initiale de cette eau et l'allure de l'appareil moteur, de manière à toujours condenser à la température qui donne le maximum de rendement. Mais leur fonctionnement coûte beaucoup plus cher, en raison de l'infériorité du rendement de leur machine motrice sur le rendement de l'appareil moteur.

Tout bien considéré, le système de pompes de circulation avec moteur indépendant, est en pratique le plus avantageux ; aussi tend-il à se généraliser de plus en plus.

Rappelons enfin pour être complet, le système de pompe à air faisant en même temps fonction de pompe de circulation et dont le jeu a été expliqué en détail au n° 48. Ce système n'est pas à re-

commander en raison des difficultés qui en résultent d'assurer l'alimentation des chaudières.

N° 51₄ Description et théorie des pompes centrifuges ordinaires. — Le caractère distinctif des pompes centrifuges est de produire l'élévation de l'eau par la rotation rapide d'une roue à palettes ou turbine, qui aspire l'eau à son centre et la rejette à sa circonférence dans un tuyau où elle s'élève à une hauteur en rapport avec la vitesse de rotation des palettes. La *fig.* 24, *pl.* VI, représente un spécimen de ce genre de pompe qui est du système *Appold* fort usité en Angleterre; en voici la description :

Fig. 24, Pl. VI.

AA' Arbre horizontal, traversant le corps de pompe et passant dans les deux presse-étoupe 1. La partie A' a un diamètre notablement inférieur à celui de la partie A ; elle porte : 1° la turbine ou appareil à action centrifuge B, placée au milieu de la pompe, et dont le moyeu appuie contre l'épaulement formé par la différence des diamètres de A et de A'; 2° un manchon en bronze *a* dont le diamètre extérieur est égal à celui de la partie A de l'arbre, et qui appuie fortement sur le moyeu de la turbine B, par suite du serrage produit par un écrou extérieur 2 taraudé sur l'extrémité de A'. — Les presse-étoupe ordinaires 1, en même temps qu'ils empêchent l'air de pénétrer dans la pompe, servent de support à l'arbre AA'. A cet effet, ils sont munis de bagues intérieures en bronze très-allongées.

B Turbine ou appareil à action centrifuge. Avec le moyeu intérieur monté sur l'arbre AA', font corps les palettes recourbées *b*,*b*... qui, dans la vue 1° affectent la forme d'un trapèze dont la petite base est à la circonférence extérieure, et dont la grande base est raccordée au moyeu par un autre trapèze. Ces palettes sont recouvertes sur les joues, par des troncs de cône *c*,*c*, venus de fonte avec elles, mais qui ne s'étendent pas sur le raccordement de la grande base des palettes avec le moyeu, afin de laisser libre l'entrée de l'eau dans l'intérieur de la turbine. Les palettes sont encore reliées entre elles, et leur tenue sur le moyeu est assurée par un disque circulaire médian, que l'on voit en coupe dans la vue 1°, mais qui ne se prolonge pas jusqu'aux extrémités des palettes. Ce disque partage la turbine en deux parties symétriques, à chacune desquelles correspond un tuyau d'aspiration, mais qui ont un tuyau de refoulement commun.

C, C' Corps extérieur de la pompe, formé en deux parties. La partie C porte les deux conduits d'aspiration *d* et le conduit de refoulement E. Elle est munie à sa base de collerettes longitudinales 3 qui servent à la fixer. — L'autre partie C' est mobile et se boulonne sur la partie C pour fermer hermétiquement la capacité de la pompe. Elle constitue une sorte de porte de visite et de montage par l'ouverture de laquelle la turbine B est introduite. Lorsque cette dernière est en place, les bords des grandes bases de ses palettes touchent, sur une petite étendue dressée à cet effet, les parties rentrantes du corps de pompe, et partagent la capacité de ce corps en deux parties : l'une intérieure pour l'aspiration, l'autre extérieure pour le refoulement.

D Tuyau d'aspiration. Ce tuyau se partage en deux *d*,*d*, qui viennent aboutir à deux points diamétralement opposés du corps de pompe, autour des presse-étoupe 1 de l'arbre AA'. Ces tuyaux communiquent avec les cavités intérieures *d''*,*d''*, en sorte que l'eau est amenée des deux côtés, juste au centre de la turbine. — Ajoutons que le tuyau d'aspiration D porte à sa base un clapet de retenue, pour qu'on puisse amorcer la pompe, et afin qu'elle reste pleine d'eau pendant les arrêts.

E Conduit de refoulement. Ce conduit prend naissance à la partie inférieure du tore ou boudin E' formé par le corps de pompe, et dans lequel se meuvent les extrémités des palettes de la turbine. L'espace annulaire, compris entre ces palettes et la circonférence extérieure du tore E', a ici partout la même largeur; mais assez souvent il va en augmentant, en suivant le sens de la rotation, depuis la partie supérieure du tuyau de refoulement E jusqu'à la partie inférieure de ce même tuyau.

Voici maintenant comment cette pompe fonctionne. Après qu'elle a été amorcée par l'introduction d'une certaine quantité d'eau, la pompe est mise en marche et la turbine reçoit de l'arbre AA', un mouvement rapide de rotation. Les palettes impriment ce mouvement à l'eau qui les entoure, et il en résulte le développement d'une force centrifuge qui éloigne cette eau de l'axe et la porte vers la circonférence extérieure de la turbine, où elle se déverse dans le tore ou boudin E'. Cette force centrifuge détermine dans ce tore, une certaine pression dont l'action s'ajoute à celle de la vitesse tangentielle avec laquelle l'eau abandonne les palettes; il en résulte que l'eau est refoulée dans le conduit E, et élevée à une hauteur plus ou moins considérable. En même temps, il se crée un vide au centre de la turbine de chaque côté du disque médian; ce vide est aussitôt rempli par l'eau contenue dans le tuyau d'aspiration, qui obéit à l'excès de pression de l'atmosphère.

Le disque médian que l'on voit en coupe vue 1°, au milieu de la turbine, a pour effet d'empêcher les deux courants qui arrivent en sens contraires au centre de la turbine, de se briser l'un contre l'autre, ce qui nuirait à l'efficacité de la pompe. D'autre part, pour que ces courants ne soient pas attaqués à angle droit par les palettes, ce qui occasionnerait des chocs très-nuisibles au rendement de la pompe, le moyeu présente de chaque côté, un raccordement qui a pour effet de changer graduellement la direction de la veine liquide lorsqu'elle passe de l'intérieur du corps de pompe dans la turbine. La courbure donnée aux palettes, dès leur origine, a aussi pour effet de diminuer les chocs en question; la continuité de la courbure fait que l'eau est, pour ainsi dire, actionnée progressivement pendant le mouvement de rotation. Dans toutes les pompes centrifuges, la largeur des palettes décroît du centre à la circonférence. — Il faut qu'il en soit ainsi, à cause de la divergence de ces palettes, pour conserver au courant d'eau la même section d'écoulement dans toutes les parties de la turbine. Il arrive même que quelques constructeurs donnent à la section de sortie une étendue moindre qu'à celle de l'entrée, pour tenir compte du retard que l'eau éprouve dans son changement de direction en passant du corps de pompe dans la turbine.

Comme détails de construction particuliers à la pompe qui nous occupe, on remarquera que la turbine B n'est tenue sur l'arbre AA' que par la pression qu'exerce sur son moyeu le manchon *a* serré par l'écrou 2. L'arbre, qui porte d'ailleurs une poulie de transmission de mouvement placée sur la partie A, n'a sa position déterminée dans le sens de son axe que par la turbine emprisonnée dans le corps de pompe. Le mouvement de rotation ayant lieu dans le sens du serrage de l'écrou, la turbine est suffisamment tenue sur son arbre, et la disposition qui nous occupe facilite considérablement les opérations de démontage et de remontage. Il suffit, en effet, d'ouvrir la porte C' du corps de pompe, de desserrer complétement l'écrou 2, puis de retirer l'arbre; la turbine est alors libre et peut être enlevée. Si le moyeu de la turbine était fixé au moyen de clavettes longitudinales, il faudrait frapper sur l'extrémité de l'arbre A' pour la déman-

cher; il se produirait alors, au passage de la turbine dans l'intérieur du corps de pompe, un matage qui, à la longue, pourrait augmenter assez le jeu pour diminuer, d'une manière notable, le rendement de l'appareil. L'eau refoulée dans le tore E', passerait en effet par ce jeu et reviendrait de nouveau dans le conduit d'aspiration *d*.

Théorie élémentaire des pompes centrifuges. — Il est difficile d'établir, avec une exactitude suffisante, une théorie élémentaire des pompes centrifuges. Les phénomènes qui se produisent dans les changements nombreux de direction qu'éprouve l'eau peuvent être expliqués, mais il est de toute impossibilité de les soumettre à un calcul rigoureux. Nous nous contenterons de donner quelques explications propres à bien faire comprendre le fonctionnement des pompes qui nous occupent.

Dans les pompes ordinaires à clapets, le cylindre est alternativement en communication avec le tuyau d'aspiration et avec le tuyau de refoulement. Pourvu que la force exercée sur le piston soit suffisante, le fonctionnement de la pompe est assuré quelle que soit la hauteur d'élévation de l'eau, du moment que cette eau arrive dans la pompe à l'aspiration. Il suffit, pour cela, que la pompe soit placée par rapport au niveau du réservoir où elle puise l'eau, à une hauteur inférieure à $10^m,33$, parce que toute la colonne d'eau que renferme le tuyau de refoulement est soutenue par le clapet de ce tuyau pendant que la pompe aspire. Il n'en est pas de même dans les pompes centrifuges. En effet, dans ces pompes, les tuyaux d'aspiration et de refoulement sont constamment en communication, et la totalité de la colonne d'eau doit toujours être soutenue dans ces deux tuyaux, ainsi que nous allons l'expliquer, par les actions combinées de la force centrifuge et de la vitesse tangentielle des palettes. Pour que l'eau se déverse par le tuyau de refoulement, la résultante de ces actions doit être supérieure à la pression exercée par la colonne d'eau soulevée, de toute la force absorbée par les frottements et les pertes de force vive que l'eau éprouve dans ces divers changements de direction, ainsi que de la force représentée par la vitesse que possède l'eau à la sortie du tuyau de refoulement. Si l'écoulement n'a pas lieu, la force centrifuge agit alors seule et fait juste équilibre à la pression exercée par la colonne d'eau soulevée; dans ce cas, tout le travail moteur est dépensé en frottements et en pertes de force vive par suite du tourbillonnement de l'eau autour de la turbine.

Nous adopterons, dans ce qui suit, les notations suivantes :

R^m Le rayon extérieur de la turbine, mesuré depuis le centre jusqu'au dernier point de chaque palette qui agit efficacement sur l'eau.

r^m Le rayon intérieur de la turbine, mesuré du centre à la naissance des palettes.

a^m La portion du rayon qu'intercepte la courbe qui termine chaque palette et sur laquelle l'eau glisse sans choc pour sortir de la turbine.

$s^{m.q}$ La section d'écoulement de l'eau à sa sortie de la turbine.

N Le nombre de tours de la turbine par minute.

p^{k} Le poids de l'eau soumise au mouvement de rotation des palettes.

R_1^m Le rayon de giration de l'eau précédente, c'est-à-dire le rayon à l'extrémité duquel le poids p^{k} d'eau devrait être porté pour développer la force centrifuge égale à la somme des forces centrifuges partielles développées par les diverses molécules de ce poids d'eau, à l'extrémité de leurs rayons respectifs.

O^m La vitesse angulaire.
P^{kg} Le poids d'eau débité dans une seconde.
V^m La vitesse réelle d'écoulement à l'orifice du tuyau de refoulement, ce tuyau étant supposé avoir une section égale à celle de sortie de la turbine.
$v^m = \frac{P}{1.000 s}$ la vitesse de l'eau à sa sortie de la turbine.
$V_1{}^m$ La vitesse avec laquelle l'eau devrait être lancée au bas du tuyau d'aspiration pour arriver à la hauteur maxima H_1 à laquelle la pompe peut théoriquement élever cette eau.
$v_1{}^m$ La vitesse due à l'action de la force centrifuge.
$H_1{}^m$ La hauteur maxima à laquelle l'eau pourrait être théoriquement élevée, cette hauteur étant mesurée du niveau du réservoir inférieur.
H^m La hauteur réelle d'élévation de l'eau, mesurée du niveau du réservoir inférieur au sommet du tuyau de refoulement, ou à l'extrémité du jet liquide.
h^m La hauteur du tuyau d'aspiration du niveau inférieur au centre de la turbine.
$h_1{}^m$ La hauteur de la colonne d'eau que la force centrifuge peut maintenir en suspension.
$h'_1{}^m$ La hauteur théorique d'élévation due à la vitesse tangentielle des palettes.

Mode de fonctionnement. Hauteur théorique maximum à laquelle l'eau peut être élevée. — Lorsqu'une pompe centrifuge est en fonctionnement normal, la veine liquide qui circule dans chacun des compartiments de la turbine, est animée d'un double mouvement; pendant qu'elle s'éloigne du centre vers la circonférence avec la vitesse déterminée par l'écoulement, elle est soumise à l'action des palettes qui l'entraînent dans leur mouvement de rotation. — Prenons la pompe au repos et amorcée : la turbine et le tuyau d'aspiration sont pleins d'eau et le niveau de cette eau s'élève jusqu'à une certaine hauteur dans le tuyau de refoulement. Mettons la pompe en marche; l'eau que renferme la turbine est entraînée dans le mouvement de rotation des palettes, et il se développe sur la masse de cette eau une certaine force centrifuge qui va en augmentant avec la vitesse de rotation. Mais l'eau ne s'élève dans le tuyau de refoulement qu'à partir du moment où la force centrifuge est capable de mettre en mouvement la colonne d'eau qui pèse, *en dessous* comme *en dessus*, sur la section de sortie de la turbine. Dès ce moment, l'action de la vitesse tangentielle vient s'ajouter à l'action de la force centrifuge et le niveau s'élève dans le tuyau de refoulement; il tend alors à se créer un vide au centre de la turbine et l'eau du réservoir inférieur, obéissant à l'excès de la pression atmosphérique, afflue dans la pompe. A partir de ce moment, la vitesse d'écoulement augmente avec la vitesse de rotation.

Jusqu'au moment où l'eau se met en mouvement dans le tuyau de refoulement, les choses se passent d'une manière fort simple ; une seule force est en jeu; la force centrifuge qui a pour expression $\frac{p}{g} O^2 R_1$, et qui exerce par unité de surface de la section s de sortie de la turbine, une pression $\frac{pO^2R_1}{gs}$. La colonne d'eau h_1 qui fait équilibre à cette force centrifuge exerçant en sens contraire la pression $1.000\, h_1$, on a :

$$\frac{pO^2R_1}{gs} = 1.000\, h_1;$$

d'où :

$$h_1 = \frac{p O^2 R_1}{1.000 g s}.$$

L'écoulement sera déterminé à la vitesse O, pourvu que la hauteur totale de l'eau d'*amorçage* dans la pompe n'atteigne pas la valeur h_1. Dès que l'eau commence à sortir de la turbine, les palettes la lancent à la base du tuyau de refoulement avec la vitesse tangentielle OR de leurs extrémités. Il en résulte, par réaction, une augmentation de la vitesse d'écoulement dans la turbine et, par suite, la formation d'un certain vide au centre de cet organe qui détermine un accroissement de la vitesse d'écoulement dans le tuyau d'aspiration. Si la vitesse de rotation augmente, la force centrifuge devient plus grande et son action s'ajoute à celle de la vitesse tangentielle des palettes pour déterminer la vitesse d'écoulement du liquide.

Pour trouver la hauteur maximum H_1 à laquelle l'eau pourra être élevée, considérons que la force centrifuge est capable de maintenir en suspension et sans écoulement la colonne d'eau h_1; mais ce résultat serait également obtenu si chaque molécule d'eau était incessamment lancée à la base du tuyau d'aspiration, avec la vitesse capable de l'élever à la hauteur où elle se trouve. Or, en divisant la hauteur totale h_1 en n parties égales, la hauteur dont il faudrait laisser tomber toute la masse d'eau pour produire, sur chacune de ces molécules la vitesse capable de les ramener à la hauteur qu'elles occupent, a pour valeur :

$$\frac{1}{n}\left[\frac{h_1}{2n} + \frac{3h_1}{2n} + \frac{5h_1}{2n} + \ldots\ldots \frac{(2n-1)h_1}{2n}\right] = \frac{h_1}{2n^2}[1 + 3 + 5 \ldots\ldots + (n-1)]$$

$$= \frac{h_1}{2n^2} \times n^2 = \frac{h_1}{2}.$$

La force centrifuge est donc capable d'imprimer à l'eau prise à la base du tuyau d'aspiration, une vitesse :

$$v_1 = \sqrt{2g\frac{h_1}{2}};$$

d'où :

$$v_1^2 = g h_1 = \frac{p O^2 R_1}{1.000 s}.$$

Le travail moteur correspondant développé sur le poids P^kg d'eau qui traverse la turbine dans une seconde, vaut $\frac{P}{2g} v_1^2$; mais à la sortie de la turbine, chaque molécule d'eau reçoit une vitesse OR, ce qui correspond à un travail moteur $\frac{P}{2g} O^2R^2$. Le travail total employé à l'élévation de l'eau a donc pour valeur :

$$\frac{P}{2g}(O^2R^2 + v_1^2).$$

Ce travail sera absorbé par l'élévation de l'eau à la hauteur maxima H_1, à laquelle cette eau parvient avec une vitesse nulle; on a donc :

$$PH_1 = \frac{P}{2g}(O^2R^2 + v_1^2);$$

d'où :

$$H_1 = \frac{O^2R^2 + v_1^2}{2g}.$$

On voit que cette valeur de H_1 est tout à fait indépendante de la hauteur du tuyau d'aspiration. Donc, théoriquement et toutes choses égales d'ailleurs, la hauteur maxima H_1 que l'eau peut atteindre sera toujours la même, quelle que soit la position de la pompe par rapport au niveau du réservoir. — Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que la hauteur de la pompe au-dessus du réservoir ne saurait atteindre $10^m,33$ qui correspond au cas d'un vide parfait; d'autre part, pour assurer la mise en marche de la pompe, la hauteur du tuyau d'aspiration doit toujours être un peu inférieure à h_1.

Si on remplace v_1^2 par sa valeur $\frac{pO^2R_1}{1.000s}$, on a :

$$H_1 = \frac{1}{2g}\left(O^2R^2 + \frac{pO^2R_1}{1.000s}\right).$$

Cette égalité montre, que toutes choses égales d'ailleurs, la hauteur maximum H_1 sera augmentée en réduisant la section s de sortie de la turbine; c'est en effet ce que confirme l'expérience.

Remarquons que l'eau s'élèverait également à la hauteur H_1 si elle était lancée à la base du tuyau d'aspiration avec une vitesse V_1 telle qu'on aurait :

$$V_1^2 = 2gH_1 = O^2R^2 + \frac{pO^2R_1}{1.000s};$$

d'où :

$$V_1 = O\sqrt{R^2 + \frac{pR_1}{1.000s}}.$$

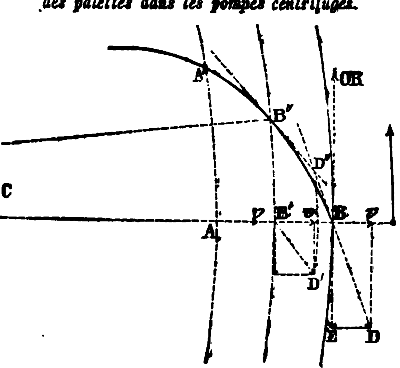
En pratique, la vitesse théorique V_1 de départ à la base du tuyau d'aspiration, ne permettra pas d'atteindre la hauteur totale H_1, à cause des pertes de force vive qu'éprouve l'eau par suite des frottements dans les tuyaux et des changements brusques de la direction de sa marche pour traverser la turbine. Quoi qu'il en soit, la valeur de V_1^2 est plus grande que O^2R^2 de toute la quantité $\frac{pO^2R_1}{1.000s}$; c'est ce qui explique le fait constaté dans plusieurs expériences, que l'eau peut être élevée, par une pompe centrifuge, à une hauteur supérieure à celle qui correspond à la vitesse tangentielle des palettes. Il importe même de remarquer que, sans compter la hauteur d'aspiration, l'eau peut être élevée à une hauteur supérieure à celle qui correspond à OR; cela tient à ce que la vitesse OR ne peut être imprimée à l'eau, qu'autant que celle-ci s'échappe de la turbine avec une certaine vitesse due à l'action de la force centrifuge. Par suite, la vitesse résultante, avec laquelle l'eau est lancée dans le tuyau de refoulement est supérieure à OR.

Courbure des palettes. — Les palettes ne peuvent actionner l'eau qui traverse la turbine et l'entraîner dans leur mouvement de rotation sans qu'il se produise des chocs, et, par suite, des pertes de force vive. Ces pertes ne sauraient être annulées, mais pourraient être considérablement diminuées si, en chacun des points de la longueur des palettes, la surface agissante différait peu de la normale à la direction déjà imprimée au liquide qu'elle actionne. Cette condition n'est pas réalisable en pratique; car il en résulterait que le chemin décrit par chacune des molécules, serait presque une ligne droite; par suite, ces molécules échapperaient à l'action centrifuge, puisqu'elles ne participeraient pas au mouvement des palettes. Ces dernières ne pourraient alors agir sur l'eau que par poussée, à la façon des cames sur les galets; mais ce mode d'action exigerait, pour être efficace, que le mouvement de rotation soit porté à des limites qu'on ne peut atteindre en pratique.

Étant établi que le liquide doit être soumis à l'action de la force centrifuge et par suite tourner avec les palettes, celles-ci agiront toujours par choc en changeant à chaque instant la direction imprimée aux molécules d'eau. Quelle que soit la courbure des palettes, cette courbure différera toujours beaucoup de celle qui ne produirait aucun choc; et, dès lors, la forme des palettes ne peut avoir qu'une importance secondaire. Toutefois, la courbure des extrémités peut avoir une influence considérable sur le fonctionnement de la pompe centrifuge, en facilitant le dégagement de l'eau à sa sortie de la turbine. C'est surtout à ce point de vue que la forme des palettes doit être étudiée.

Considérons une molécule d'eau placée en A un peu avant l'extrémité de la palette plane CAB, *fig.* 21. Cette molécule est animée de deux vitesses : l'une OR dirigée suivant la tangente est égale à la vitesse circonférentielle du point A de la palette; l'autre v, dirigée suivant le rayon, est égale au quotient du volume d'eau que débite la pompe par la section de sortie de cette eau autour de la turbine. Si on veut qu'à partir du point A, la molécule liquide qui nous occupe s'échappe de la turbine sans recevoir de nouveaux chocs de la palette, cette dernière doit être courbée suivant la direction que tend à prendre, à chaque instant, la molécule liquide. Or, à l'extrémité de la palette, cette molécule possédera, dans le sens de la rotation, la vitesse circonférentielle du point A, plus faible que la vitesse circonférentielle du point B; c'est comme si la molécule liquide marchait à la rencontre de la palette avec une vitesse égale à la différence des vitesses circonféren-

Fig. 21, relative à la courbure des extrémités des palettes dans les pompes centrifuges.



tielles des points B et A. Soit BE cette différence que nous portons en sens contraire du mouvement de rotation, et soit Bv la vitesse suivant le rayon que nous supposerons constante, au moins sur la longueur AB du rayon. La diagonale BD est la direction suivant laquelle marchera la molécule liquide par rapport à la palette ; cette direction doit donc être celle du dernier élément de cette palette.

Lorsque la molécule liquide était à moitié chemin entre le point A et le point B, au point B′, ce dernier point possédait une vitesse tangentielle plus grande que celle de la molécule, d'une quantité B′E′ égale à 1/2 BE. Cette molécule ayant d'ailleurs toujours la même vitesse $B'v = Bv$, suivant le rayon, on trouve comme précédemment, que B′D′ doit être la direction de l'élément de la palette au point B′. Faisons tourner la ligne B′D′ et le rayon B′C autour du centre, jusqu'à ce que le point D′ vienne en D″, sur la direction BD; B′D′ sera venu en B″D″. Si on mène une courbe A′B″B tangente en B et B″ aux directions BD et B″D″, cette courbe sera le chemin de la molécule d'eau par rapport à la palette, et cette dernière n'aura plus aucune action sur cette molécule, qui s'échappera par suite, de la turbine, sans chocs, en glissant sur la courbe A′B″B. — Il ne reste plus qu'à raccorder cette dernière courbe avec l'origine de la palette. Ce raccordement peut être obtenu au moyen de courbes bien diverses, mais cela a peu d'importance; très-souvent, il est seulement effectué au moyen d'un arc de cercle.

Il est bien évident qu'en construisant l'épure en grandeur naturelle, au moins quant au rayon de la turbine, on peut déterminer plusieurs directions auxquelles la courbe A′B″B doit être tangente ; il suffit de diviser AB en autant de parties égales que l'on veut, et d'opérer pour chaque point de division, comme nous l'avons fait pour le point B′. Quant à la valeur de la portion $AB = a$ du rayon interceptée par la courbe A′B″B, on peut estimer qu'elle vaut en moyenne $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{10}$ du rayon de la turbine. — L'angle EBD formé par la direction BD du dernier élément de la palette avec la direction de la tangente BE, est déterminé par la construction que nous venons d'effectuer. Pour une même valeur de la vitesse v et de la vitesse circonférentielle de la molécule liquide au moment où cette dernière commence à suivre la courbure de la palette, l'angle EBD varie en sens inverse du rapport $\frac{AB}{CB}$. La valeur moyenne de cet angle, adoptée par les divers constructeurs, s'écarte peu de 30°. Cette valeur est d'ailleurs déterminée par l'égalité :

$$\text{tang EBD} = \frac{ED}{EB} = \frac{v}{0 \times CB - 0 \times CA} = \frac{v}{0(CB - CA)} = \frac{v}{0 \times AB} = \frac{v}{0 \times a}.$$

Si l'on remplace 0 qui est la vitesse angulaire, par sa valeur $\frac{2\pi N}{60}$; et si de plus on prend EBD $= 30°$, on déduit de l'égalité précédente :

$$a = \frac{v \times 6°}{6{,}28\,N \text{ tang } 30°} = \frac{16{,}54\,v}{N}.$$

Or, la vitesse v est égale, d'après la prévision du débit, à $\frac{P}{1.000\,s}$; on a donc :

$$a = \frac{0{,}01654\,P}{Ns}.$$

On remarquera que pour une allure et un débit déterminés, la valeur de la portion a du rayon qui est complétement inutilisée, au point de vue de la vitesse tangentielle avec laquelle l'eau abandonne la turbine, doit augmenter à mesure qu'on réduit la section s de sortie de l'eau de la turbine, ou que le nombre de tours par minute est plus considérable.

Débit théorique. Rendement. — Nous avons trouvé que, théoriquement, l'eau était lancée à la base dû tuyau d'aspiration avec une vitesse $V_1 = 0\sqrt{R^2 + \frac{pR_1}{1.000\,s}}$.

Si l'eau se déverse à une hauteur H, ce qui correspond à une perte de vitesse égale à $\sqrt{2gH}$, l'eau possède encore à la sortie du tuyau de refoulement, une vitesse :

$$V = 0\sqrt{R^2 + \frac{pR_1}{1.000\,s}} - \sqrt{2gH}.$$

Comme pour des sections égales, la vitesse de l'eau est la même *en tous* les points de son parcours, on a :

$$\textit{débit théorique} = s\left[0\sqrt{R^2 + \frac{pR_1}{1.000\,s}} - \sqrt{2gH}\right].$$

On voit que pour augmenter le débit, il faut réduire au strict nécessaire la hauteur d'élévation H. Ce débit augmente aussi avec la vitesse de rotation, avec le rayon R et la section s de sortie de l'eau de la turbine. — Le débit réel n'est qu'une fraction généralement assez faible du débit théorique. En désignant par v la vitesse réelle avec laquelle l'eau s'échappe de la turbine, et qui est égale au quotient du *débit réel* par s, on a pour valeur du coefficient de rendement :

$$K = \frac{\text{débit réel}}{\text{débit théorique}} = \frac{v}{0\sqrt{R^2 + \frac{pR_1}{1.000\,s}} - \sqrt{2gH}}.$$

Utilisation. — Nous avons vu que l'eau est élevée par les actions combinées de la force centrifuge et de la vitesse tangentielle des palettes. — D'abord la force centrifuge maintient une colonne d'eau h_1, ayant pour base la section s de sortie de la turbine, et produit le même effort que si elle imprimait au poids de cette colonne d'eau une vitesse $v_1 = \sqrt{2g\frac{h_1}{2}}$, capable de l'élever à la hauteur $\frac{h_1}{2}$. Or, le poids de la colonne d'eau h_1 est

précisément égal à la force centrifuge, soit $= \frac{p}{g}$ O^2R_1 kilogrammes. On a donc :

$$\text{Travail moteur de la force centrifuge} = \frac{1}{2}\frac{p}{g}\,O^2R_1 \times v_1^2.$$

En remplaçant v_1^2 par sa valeur gh_1, et h_1 par $\frac{p^2O^2R_1^2}{1.000gs}$, il vient :

$$\text{Travail moteur de la force centrifuge} = \frac{p^2O^4R_1^2}{2.000g^2s}.$$

D'un autre côté, le poids P^{kg} d'eau débité par la pompe, reçoit de la turbine une vitesse tangentielle OR, et l'on a :

$$\text{Travail moteur de la vitesse tangentielle} = \frac{P}{2g}\,O^2R^2.$$

Par suite le travail moteur total a pour valeur :

$$T_m = \frac{O^2}{2g}\left(\frac{p^2O^2R_1^2}{1.000gs} + PR^2\right).$$

Il importe de remarquer que ce travail moteur devrait être augmenté de tout le travail absorbé par le frottement de l'arbre de la turbine sur ses portées.

Le poids P^{kg} d'eau étant élevé à la hauteur H, le travail utile est PH; par suite la valeur de l'utilisation est :

$$u = \frac{2gHP}{O^2\left(\frac{p^2O^2R_1^2}{1.000gs} + PR^2\right)}.$$

La différence de ce rapport à l'unité tiendra compte des pertes de force vive que l'eau éprouve dans ses divers changements de direction, des pertes résultant du frottement de l'eau dans les conduits, et enfin de la demi-force vive que possède encore l'eau à sa sortie du tuyau de refoulement.

A bien prendre, ce n'est pas la valeur de la hauteur d'élévation H de l'extrémité du tuyau de refoulement au-dessus du réservoir qu'il faudrait faire entrer dans la valeur de l'utilisation, mais bien la hauteur maximum H'_1 que l'eau refoulée atteint, ou est capable d'atteindre, en tenant compte de sa vitesse de sortie du tuyau de refoulement, puisque la turbine a rendu le travail correspondant à cette élévation, on aurait alors :

$$U = \frac{2gH'_1P}{O^2\left(\frac{p^2O^2R_1^2}{1.000gs} + PR^2\right)}.$$

Pour trouver exactement l'utilisation d'une pompe centrifuge, il faudrait diviser le produit PH'_1 par le travail moteur transmis dans une seconde à l'arbre de la turbine. On tiendrait ainsi compte de toutes les

pertes, y compris celles qui résultent du frottement de l'arbre dans ses appuis. A cause de la rapidité de la rotation de la turbine, la transmission de mouvement ne peut être établie qu'au moyen d'une courroie, et comme on ne peut qu'*estimer* le travail perdu par suite du glissement de cette courroie, la détermination du travail moteur réellement transmis à la pompe présente toujours un certain *alea*. Pour les pompes mues par une machine *Brotherhood* (n° 63.), la difficulté gît dans l'impossibilité de mesurer le travail moteur sur les pistons, en raison de la grande vitesse de rotation. Cette difficulté peut être tournée en mesurant le travail sur l'arbre au moyen d'un frein de Prony ; mais cette expérience n'a jamais été faite.

Il existe pour chaque pompe centrifuge, une allure qui correspond à une utilisation maximum. En dessus comme en dessous de cette allure, l'utilisation diminue d'une manière sensible, et le fonctionnement peut même cesser par suite de la diminution de la vitesse, ainsi que nous l'avons expliqué à l'article précédent. Dans ce dernier cas, l'utilisation est égale à zéro, puisqu'il n'y a pas d'eau élevée ; mais le travail moteur n'est pas nul. Si le clapet de retenue du tuyau d'aspiration n'existait pas, la force centrifuge soutiendrait seule la colonne d'eau qui reste dans les tuyaux de la pompe, et cette colonne d'eau diminuerait avec la vitesse de rotation, jusqu'à ce que la pompe soit désamorcée. Le clapet de retenue du tuyau d'aspiration existant toujours, les tuyaux demeurent pleins si le clapet est étanche. Dans les deux cas, il y a comme dépense, le travail moteur absorbé par le frottement des palettes dans l'eau qui entoure la turbine et par les tourbillonnements que détermine le choc des bords des palettes sur cette eau.

Revenons au point important de l'allure qui donne le maximum d'utilisation. Lors de cette allure, la section du tuyau de refoulement et celle du tuyau d'aspiration sont dans le meilleur rapport avec la quantité d'eau qui les parcourt dans une seconde, pour qu'il ne se produise pas de remous capables d'absorber une partie de la force vive ascensionnelle de l'eau. Reste la résistance due aux frottements de l'eau dans ses conduits, qui possède alors une certaine valeur. Si la vitesse de rotation augmente, le débit devient plus grand et la résistance précitée augmente rapidement, parce que la section des tuyaux devient de plus en plus faible pour la quantité d'eau débitée, tandis qu'on n'a rien à gagner du côté de la diminution des remous, puisqu'ils n'existaient pas. — Si la vitesse de rotation diminue, le débit devient plus faible et les frottements de l'eau dans les conduits sont moindres ; mais la section des tuyaux devient trop grande pour la quantité d'eau débitée, le courant se forme dans l'axe de ces tuyaux et il se produit sur les bords, des remous qui absorbent une grande partie du travail moteur. On comprend, d'après ces explications, que même en tenant compte de la vitesse de sortie de l'eau, il y ait une allure pour laquelle l'utilisation est maximum. — C'est par l'expérience qu'il faut trouver cette allure pour chaque pompe.

Débit relatif. — On donne le nom de débit relatif au rapport du

volume d'eau que débite une pompe dans une seconde, au volume du corps de pompe qui le produit. Ce rapport exprime la qualité particulière des pompes de débiter une quantité plus ou moins grande d'eau pour un encombrement déterminé. Pour les pompes ordinaires à piston dont les cylindres ont le même volume, le débit relatif augmente avec la vitesse moyenne du piston. — Pour les pompes centrifuges, le débit relatif est le rapport du volume d'eau débité dans une seconde au volume du cylindre circonscrit à la turbine. Pour ces dernières pompes, ce rapport peut servir de terme de comparaison au point de vue du poids et du prix de revient, pour des pompes d'un même système, car les poids sont sensiblement proportionnels aux volumes, et les prix de revient sont sensiblement proportionnels aux poids.

Comparées aux pompes ordinaires à piston, et sans tenir compte, bien entendu, de l'utilisation, les pompes centrifuges ont un débit relatif beaucoup plus élevé; c'est-à-dire que pour un volume de cylindre circonscrit à la turbine égal au volume du cylindre d'une pompe ordinaire, les pompes centrifuges, lorsqu'elles sont placées dans des conditions convenables, débitent par seconde, une quantité d'eau beaucoup plus grande que celle qui est débitée par les pompes ordinaires à piston. Cela tient à la grande vitesse de fonctionnement normal des pompes centrifuges.

Observations importantes sur le fonctionnement des pompes centrifuges, et sur les dimensions et la nature de leurs tuyaux. — L'expérience a montré que le rendement est meilleur, c'est-à-dire que la pompe fonctionnant à la même allure débite une plus grande quantité d'eau, lorsqu'elle est placée un peu au-dessus du niveau du réservoir, que lorsqu'elle travaille en charge par rapport à ce niveau. Cela résulte de ce que l'eau devant changer de direction à angle droit, pour passer du corps dans la turbine, il est avantageux que cette eau pénètre dans la turbine avec une vitesse très-faible sinon nulle. Sans cela, la force vive que possède cette eau est presque complétement détruite par suite du changement brusque de direction, et il en résulte des réactions et des remous qui retardent l'introduction de l'eau dans l'intervalle des palettes. Ainsi, une pompe centrifuge employée dans un navire comme appareil de circulation du condenseur à surface, et fonctionnant par suite en charge par rapport au niveau de la mer, où cette pompe puise l'eau, aura toujours un rendement plus faible que si elle agissait par aspiration, étant placée à un ou deux mètres au-dessus du niveau de la mer. — Dans les conditions où sont placées les pompes centrifuges, agissant comme pompes de circulation, le tuyau d'arrivée de l'eau à la turbine doit être dirigé dans le sens de l'axe; le moyeu de la turbine doit être fortement en saillie dans ce tuyau d'arrivée et avoir un évasement progressif, pour modifier insensiblement la direction des filets liquides jusqu'au moment où ils sont actionnés par les palettes.

En principe, il faut augmenter autant que possible le diamètre du tuyau d'aspiration pour accroître le débit de la pompe, et pousser le plus loin

possible la hauteur d'aspiration à laquelle la pompe se désamorce. — L'augmentation du diamètre du tuyau d'aspiration fait diminuer la vitesse avec laquelle l'eau pénètre dans la turbine, et par suite la perte de force vive qui résulte du changement de direction de cette eau. En pratique, la hauteur du tuyau d'aspiration ne doit pas dépasser autant que possible 6 à 7 mètres, bien que théoriquement cette hauteur puisse atteindre 10 mètres, la vitesse de rotation étant d'ailleurs suffisante. Cela tient à la présence de l'air qui se dégage de l'eau ou qui pénètre par les joints de la pompe et ceux du tuyau d'aspiration. Cet air vient se cantonner au centre de la turbine et gêne l'arrivée de l'eau ; le volume qu'il prend est une cause de diminution de la force centrifuge, en raison de l'énorme différence qui existe entre les densités des deux fluides. — Dans quelques pompes centrifuges, on prend des précautions contre l'introduction de l'air en faisant passer l'axe de la turbine dans des presse-étoupe à joint hydraulique. Dans d'autres pompes, on ménage un dégagement à cet air, comme nous le verrons dans la pompe *Coignard*.

La section du tuyau de refoulement doit être déterminée de manière à diminuer, autant que possible, la surcharge due au frottement de l'eau; mais il faut éviter les remous qui absorberaient une grande partie du travail moteur. — Il est évident que la quantité d'eau qui s'écoule dans une seconde, par la section de sortie de la turbine, est exactement celle qui se déverse par l'extrémité du tuyau de refoulement; les vitesses que possèdent l'eau aux passages précités, sont, par suite, en raison inverse des sections de ces passages. — Si l'on considère la turbine en mouvement dans son coursier, *fig.* 24, *pl.* VI, on remarque que les diverses sections comprises entre deux palettes consécutives ne déversent pas toujours l'eau avec la même vitesse. Lors même que le coursier est concentrique à la turbine, le dégagement de l'eau est d'autant moins facile que la section considérée de sortie des palettes, est plus éloignée du tuyau d'échappement; à plus forte raison en est-il ainsi quand le coursier est excentrique. Il en résulte que toute la section libre entre les palettes ne peut être considérée comme section d'écoulement de l'eau. Aussi, dans les pompes *Neut* et *Dumont*, la section du tuyau d'échappement vaut de 1/2,5 à 1/3 de la section libre à l'extrémité des palettes.

Par ailleurs, il est bien évident qu'il faut éviter les coudes brusques et que, d'un autre côté, les tuyaux doivent être bien lisses à l'intérieur. L'expérience a montré que, toutes choses égales d'ailleurs, l'utilisation et le rendement étaient considérablement diminués quand on substituait les tuyaux d'aspiration en cuir des pompes ordinaires à piston, aux tuyaux d'aspiration en cuivre.

Remarque sur la détermination du rayon de giration de la masse d'eau renfermée dans la turbine. — Ainsi que nous avons prévenu, les calculs que nous avons exposés ont principalement pour but d'expliquer le fonctionnement des pompes centrifuges. — Pour appliquer les résultats auxquels nous sommes arrivés, il faut déterminer pour chaque pompe le rayon R_1 de giration de l'eau qui remplit la

turbine. La valeur de ce rayon ne peut être obtenue d'une manière élémentaire que dans le cas où la turbine possède la même section dans toute sa largeur, ses palettes étant d'ailleurs sensiblement rectilignes. Dans ce seul cas, chaque filet d'eau peut être assimilé à une barre homogène d'égale épaisseur, tournant autour d'un axe qu'elle rencontre sur son prolongement. Le n° 36_8 donne alors pour expression de la force centrifuge totale :

$$F = \frac{1}{2}\frac{p}{g}\,O^2(R + r) = \frac{P}{g}\,O^2R_1;$$

d'où :

$$R_1 = \frac{R + r}{2}.$$

R et r sont le rayon extérieur et le rayon intérieur de la turbine ; p est le poids d'eau qui remplit la turbine et a pour valeur $s(R - r)$.

Pour une pompe construite, on peut déterminer expérimentalement la valeur de R_1 en mesurant la hauteur H_1, à laquelle l'eau est maintenue sans écoulement. A cet effet, il faut installer un petit mécanisme qui permette de maintenir le clapet d'aspiration soulevé quand la pompe est en fonction et que l'écoulement se produit. On diminue alors graduellement la vitesse de rotation jusqu'à ce que l'écoulement cesse; on prend note de cette vitesse et on mesure la hauteur H_1, à laquelle se maintient le niveau de l'eau dans le tuyau de refoulement, au-dessus du réservoir où la pompe puise. La valeur de R_1 se calcule alors par l'égalité :

$$R_1 = \frac{1.000\,gH_1}{pO^2}.$$

Les résultats fournis par cette expérience ne seront pas rigoureusement exacts, parce qu'en réalité l'eau ne reste pas immobile dans ce tuyau de refoulement; mais ils seront suffisants pour permettre d'apprécier le fonctionnement de la pompe et en déduire les modifications qu'il conviendrait de lui faire subir pour augmenter son utilisation ou son rendement.

RÉSULTATS D'EXPÉRIENCES.

Pompe d'Appold *expérimentée au Conservatoire des arts et métiers.*

Grand diamètre des palettes.	$0^m,230$
Petit diamètre des palettes.	$0^m,116$
Nombre de tours par minute.	876^t
Hauteur totale d'élévation.	$3^m,2$
Vitesse tangentielle des palettes.	$10^m,55$
Hauteur correspondante à cette vitesse.	$5^m,67$
Utilisation en tenant compte de la vitesse de l'eau à la sortie. .	0,70

Pompe Gwynne, *expérimentée au Conservatoire des arts et métiers.*

	AUBES PLANES.	AUBES COURBES.
Diamètre extérieur des palettes .	0m,40	0m,40
Nombre de tours par minute. . . .	375t	410t
Hauteur due à la vitesse.	3m,11	3m,77
Hauteur d'élévation.	6m,79	7m,04
Hauteur totale, aspiration comprise.	12m,50	13m,06

Pompe Neut et Dumont. *Expériences de M. Leverrier, ingénieur des mines. — Modèle B devant fournir, d'après les constructeurs, 450 tonneaux d'eau par heure à une élévation de 5 à 8 mètres.*

Diamètre extérieur des palettes 0m,48
Diamètre intérieur des palettes. 0m,30
Diamètre des tuyaux d'aspiration et de refoulement. 0m,25
Cylindre circonscrit à la turbine. 36dm-cub,19
Hauteur totale d'élévation. 8m,50

NOMBRE de tours par minute.	DÉBIT RÉEL par seconde.	DÉBIT RELATIF.	HAUTEUR due à la vitesse	HAUTEUR TOTALE d'élévation, y compris la hauteur correspondante à la vitesse que possédait l'eau à la sortie.
	litres.		mèt.	mèt.
550	159	4,39	9,74	»
525	154	4,25	8,87	»
507	147	4,06	8,35	»
480	125	3,46	7,42	8,25
460	58	1,60	6,81	»

Le débit de 450tx par heure, soit de 125 litres par seconde, était assuré à l'allure de 480 tours ; l'utilisation mesurée à cette allure a été trouvée de 0,525, en ne tenant pas compte du glissement de la courroie de transmission de mouvement. Le rapport des vitesses était de 5 à 1. A cette même allure de 480 tours, la vitesse de l'eau dans les tuyaux était de 2m,75.

Pompe Neut et Dumont, *expériences du* SUFFREN.

Données.

Diamètre extérieur des ailettes. 0m,920
Diamètre à l'origine des ailettes. 0m,380
Longueur suivant l'axe de la pompe { à l'origine des ailettes. 0m,180
{ à l'extrémité. 0m,061
Cylindre circonscrit à la turbine. 0m-cub,120
Section du passage de l'eau { à l'origine des ailettes. 0m-c,214
{ à l'extrémité. 0m-c,176

Nombre d'ailettes courbes	6
Volume engendré par une ailette dans un tour	53^{litres}
Section du tuyau de refoulement	$0^{m.c},071$
Nombre de tours normal prévu (par minute)	350
Débit correspondant prévu (par minute)	12.500^{l}
Hauteur du tuyau d'aspiration	$5^{m},50$
Hauteur du tuyau de refoulement	$2^{m},00$
Diamètre du tuyau d'aspiration	$0^{m},315$
Diamètre du tuyau de refoulement	$0^{m},300$

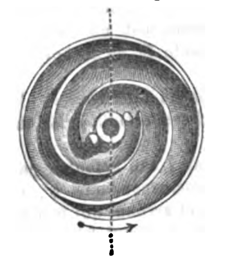
Résultats d'expériences.

Nombre de tours de la machine (par minute)	$311^{t},30$
Puissance en chevaux de 75^{km} sur les pistons	$47^{ch},97$
Volume d'eau puisé par minute	16.581^{litres}
Élévation de cette eau	$7^{m},50$
Travail utile en chevaux de 75^{km}	$27^{ch},635$
Rapport du travail utile, au travail sur le piston	0,576
Vitesse moyenne de l'eau refoulée	$3^{m},91$
Vitesse du bord des ailettes (310^{t} à 311^{t}) environ	$15^{m},00$
Hauteur correspondante à cette vitesse	$11^{m},46$
Débit relatif	2,3
Utilisation en tenant compte de la vitesse de l'eau à la sortie	0,64

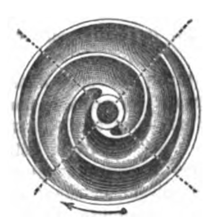
N° 51_5 Description et théorie des pompes hélicoïdes-centrifuges Coignard. — Les pompes dont il s'agit sont représentées par la *fig.* 25, *pl.* VI, dont voici la légende :

Fig. 22, *relative aux pompes hélicoïdes-centrifuges Coignard,*

Vue 1°. Intérieur du tambour vu à gauche.



Vue 2°. Intérieur du tambour vu à droite.



A Arbre de la pompe sur lequel sont montés les appareils hélicoïdes qui déterminent le mouvement de l'eau. Cet arbre est soutenu par les boîtes à graisse a, munies de coussinets et formant par suite paliers; il porte à l'une de ses extrémités la poulie a_1, par l'intermédiaire de laquelle il reçoit un mouvement rapide de rotation d'une machine quelconque. Fig. 25, Pl. VI.

a Boîtes à graisse servant de paliers de support à l'arbre A. Ces boîtes sont rapportées extérieurement contre les couvercles C′ du corps de pompe. Dans l'intérieur de chaque boîte est logé un coussinet 2, dont la position est réglée par les vis 3 taraudées dans le corps de la boîte à graisse ou dans le couvercle de cette boîte. La rondelle 4 sert de butée à l'arbre; cette rondelle s'appuie sur la face verticale de la boîte a, du côté de la pompe, et se trouve fixée sur l'arbre par des vis de pression dont elle est munie.

B Double appareil hélicoïde à action centrifuge. Chacun de ces appareils est formé d'un tambour dont la paroi b oblique par rapport à l'axe, est reliée par des hélices à un moyeu fixé sur l'arbre A et qui entraîne le tout dans le mouvement de rotation. L'inclinaison de la paroi b sur l'axe est de 75° environ; cette paroi est d'ailleurs un peu courbe. Sur la face opposée, le tambour est fermé par un disque plan b', normal à l'axe. Les hélices b_1 sont généralement au nombre de deux; elles s'étendent sur un peu plus d'une spire complète et constituent aussi deux hélices dont le grand diamètre vaut de 6,5 à 7 fois le pas, mais dont la longueur de la génératrice va croissant,

à cause de l'inclinaison donnée à la face intérieure *b* du tambour. Cette génératrice n'est pas une ligne droite, elle a la forme d'une spirale, comme le montre la vue 2°, *fig.* 22, dont l'une des extrémités tangente au moyeu, se meut sur la trace d'une hélice géométrique, et dont l'autre extrémité est tangente à la circonférence intérieure du tambour. Les spirales de la vue 1° ne sont pas les génératrices elles-mêmes; mais bien les intersections des surfaces hélicoïdes avec la paroi du tambour. Il résulte de la disposition des deux hélices que l'intérieur du tambour B est divisé en deux canaux contournés en spirale, ayant pour surface d'entraînement des liquides la surface gauche des hélices, à laquelle vient en aide la forme particulière de la génératrice. La paroi oblique *b* du tambour, est ouverte autour du moyeu pour permettre l'introduction de l'eau dans les canaux; cette paroi est infléchie à l'autre extrémité et devient parallèle à l'arbre. Le disque plan et normal à l'axe, *b'*, monté sur le moyeu, a un diamètre extérieur plus faible que celui de la partie infléchie de la paroi oblique *b*, et il existe entre les deux une ouverture annulaire qui est l'orifice de sortie de l'eau.

Les deux appareils hélicoïdes sont de pas contraires, et ont d'ailleurs des dimensions égales. Il résulte de ces dispositions que les poussées de l'eau refoulée s'équilibrent dans le sens de l'axe, et que ce dernier n'a aucune tendance à se déplacer. Les rondelles de butée 4 fatiguent par suite très-peu. D'autre part, les deux appareils fonctionnent simultanément sous l'influence du même mouvement de rotation.

C Corps de pompe, portant deux nervures intérieures ayant la forme de couronnes inclinées l'une sur l'autre du côté de leur petit diamètre; ces nervures s'évasent ensuite pour recevoir les parties tronconiques *c*, qui ont exactement la forme des parois obliques *b* des tambours B, et qui entourent d'ailleurs exactement ces parois jusqu'aux plans des disques *b'*. Les parties *c* et *b*, la première fixe et la seconde mobile, sont parfaitement centrées; elles laissent entre elles, à leurs extrémités, un tout petit jeu dans lequel l'eau fait elle-même joint. Il résulte de cette disposition que les tambours des appareils hélicoïdes n'ont à supporter aucun frottement.

C' Couvercles du corps de pompe. La face intérieure de chaque couvercle est parallèle au disque *b'* de l'appareil à action centrifuge; mais elle est creusée en demi-tore, à partir du bord extérieur du disque *b'*, pour former le conduit de dégagement de l'eau refoulée par les hélices. Sur sa face extérieure, chaque couvercle porte, autour du passage de l'arbre, une boîte à étoupe 1, dont la garniture est faite au moyen de quelques tresses contenues entre deux rondelles de cuir percées juste au diamètre de l'arbre. Le serrage est effectué par la fixation sur le couvercle C' de la boîte à graisse *a*.

D Tuyau d'aspiration de la pompe. Ce tuyau débouche dans la partie inférieure de la capacité D' formée par les deux nervures du corps de pompe; l'eau remplit cette capacité, et aboutit par les canaux *d* aux appareils hélicoïdes.

E Tuyau de refoulement commun aux deux appareils hélicoïdes. L'eau refoulée par chaque appareil pénètre d'abord dans la capacité annulaire correspondante E', et s'élève ensuite dans le tuyau E en suivant un canal oblique et arrondi qui met ce tuyau en communication avec les deux chambres E'. — Les trous 5 qui font communiquer le tuyau de refoulement E avec la chambre d'aspiration D', servent à expulser l'air qui peut pénétrer dans la pompe. Cet air se loge naturellement dans la partie supérieure de la chambre D'; la surcharge produite par le refoulement de l'eau, déterminant un courant de retour par les trous 5, la chambre D' tend constamment à se remplir, et l'air monte par l'un des trous, tandis que l'eau descend par l'autre. — L'orifice 6, bouché par une porte pendant le fonctionnement, sert à introduire dans la pompe, avant la mise en marche, l'eau nécessaire pour l'amorcer. — Enfin, les deux petites vis qu'on aperçoit dans la vue 1°, au bas de chaque couvercle C', bouchent des trous par lesquels on peut vider complétement la pompe quand elle ne doit plus fonctionner.

Mode de fonctionnement. — La légende qui précède étant bien comprise, il est facile de se rendre compte du mode de fonctionnement de la pompe *Coignard.* L'appareil hélicoïdal agit à la manière des hélices

ordinaires, c'est-à-dire par pression oblique sur l'eau qui remplit l'intervalle des deux spires. D'autre part, la rotation ayant lieu dans le sens de la flèche de la *vue* 2° *fig.* 22, l'eau actionnée par les hélices est poussée vers la circonférence extérieure du tambour, grâce à l'arrondi que détermine la forme des génératrices. Comme l'eau oppose une certaine résistance au glissement, il se produit un entraînement, et les hélices agissant en partie à la manière des palettes d'une pompe centrifuge ordinaire, l'eau est projetée par la force centrifuge contre la paroi oblique *b*, et glisse le long de cette paroi. Ce premier effet est continué, mais dans une plus faible mesure, par les portions successives de la surface hélicoïdale avec lesquelles l'eau vient en contact, en même temps que l'action de poussée de ces surfaces hélicoïdales se fait de plus en plus sentir à mesure que la longueur de la génératrice augmente. Enfin, l'eau continuant de glisser le long de la paroi oblique *b*, atteint la partie infléchie et parallèle à l'axe ; dès lors la force centrifuge n'augmente plus; son action sur le mouvement de l'eau qui glisse parallèlement à l'axe devient même nulle. La force centrifuge totale développée sur la masse d'eau mise en mouvement dans la partie conique de l'appareil, est capable d'équilibrer le poids d'une certaine colonne d'eau. Si la hauteur du tuyau d'aspiration est plus faible que la colonne d'eau en question, il reste un excédant de force centrifuge dont l'action s'ajoute à la poussée des hélices pour faire circuler l'eau parallèlement à l'axe, et la lancer ensuite dans le demi-tore qui constitue l'entrée de la chambre E′. De ces deux actions combinées, il résulte pour l'eau, une certaine vitesse correspondant à une certaine hauteur d'élévation au-dessus de la turbine. Cette hauteur d'élévation doit être augmentée de celle qui correspond à la vitesse de rotation que possède l'eau au moment de son introduction dans la capacité E′.

L'auteur donne à la capacité E′, le nom de *réservoir d'eau forcé*, à cause sans doute de l'action dominante de la poussée des hélices sur l'eau, ce qui constitue un véritable refoulement, et permet à la pompe qui nous occupe de fonctionner sous des charges relativement élevées. Quoi qu'il en soit, la hauteur totale à laquelle l'eau pourra être élevée, doit correspondre à la force centrifuge développée dans la partie conique des hélices, à l'action de poussée des hélices et enfin à la vitesse de rotation que pourra conserver l'eau au moment où elle abandonne les palettes. — Il n'est pas possible de soumettre à un calcul élémentaire, même d'une manière approximative, le mode de fonctionnement de la pompe qui nous occupe. Cela tient à l'impossibilité de mesurer, non-seulement le poids d'eau que renferme la partie conique de l'appareil centrifuge, mais surtout la vitesse finale de rotation que prend cette eau avant d'être lancée dans la chambre.

M. *Coignard* calcule le nombre de tours dans une minute que doivent faire les turbines, par la relation :

$$n = 84,66\frac{\sqrt{H}}{D} \times K;$$

dans laquelle on représente par :

D^m Le grand diamètre de la turbine.

H^m La hauteur réelle et totale d'élévation, comprenant les pertes de charge résultant du diamètre des conduites, de leur longueur et de leur nature.

K Un coefficient égal à 1,3, pour une vitesse de l'eau de 2^m par seconde à son entrée et à sa sortie de la pompe. Ce coefficient exprime le rapport de la valeur réelle du nombre n de tours par minute, à la valeur théorique de ce nombre de tours.

Il est visible que la relation ci-dessus se déduit de l'hypothèse que l'eau doit être élevée à une hauteur correspondante à la vitesse tangentielle des palettes; mais ici, comme pour les pompes centrifuges ordinaires, cette hypothèse est inexacte. Il résulte, en effet, d'un certain nombre d'expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, que la hauteur totale d'élévation de l'eau est supérieure à celle qui correspond à la vitesse tangentielle des palettes. Voici d'ailleurs les résultats de deux des expériences en question :

DÉSIGNATION.	NUMÉROS des pompes	
	7.	8.
Diamètre de la roue	$0^m,48$	$0^m,732$
Nombre de tours par minute	504^t	854^t
Hauteur due à la vitesse	$8^m,10$	$10^m,30$
Hauteur d'élévation dans le tuyau de refoulement	$4^m,98$	$6^m,00$
Hauteur totale d'élévation, aspiration comprise	$9^m,01$	$10^m,75$
Utilisation	0,45 à 0,55	
Débit absolu par minute	120^l à 130^l	
Débit relatif	2,07 à 2,24	

Si de la relation ci-dessus donnant la valeur de n, on tire la valeur de K qui correspondrait aux résultats que nous venons de transcrire, on trouve :

$$\text{Pour } n = 504^t, \qquad K = 0,95$$
$$\text{Pour } n = 854^t, \qquad K = 0,98.$$

Ainsi, dans la formule pratique adoptée par M. *Coignard*, le coefficient K pourrait être pris égal à l'unité. La valeur de 1,3 qui lui est donnée, assure très-largement le bon fonctionnement de la pompe.

L'utilisation moyenne des pompes *Coignard* est de 0,50 ; c'est-à-dire que le travail de l'eau élevée par ces pompes est la moitié du travail moteur transmis à leur arbre. Cette utilisation moyenne a été aussi trouvée dans diverses expériences faites, soit par le constructeur lui-même, soit par M. *Mangin* ingénieur de la marine. — D'un autre côté, le débit relatif de ces pompes est de 2 à 2,25; ce débit est un peu inférieur à celui des pompes centrifuges ordinaires.

Nous ajouterons pour terminer, que M. *Coignard* construit des pompes

dites à vitesse réduite, dans lesquelles les deux appareils hélicoïdes agissent l'un après l'autre sur la même eau à élever, le tuyau d'aspiration de l'un de ces appareils étant le tuyau de refoulement de l'autre ; les deux appareils hélicoïdes sont d'ailleurs toujours montés sur le même axe. — Avec cette pompe, la hauteur totale H à laquelle l'eau doit être élevée, ne figure que pour la moitié de sa valeur dans la relation donnée ci-dessus et qui sert à déterminer le nombre de tours que doivent faire les turbines dans une minute.

N° 52. — 1. Principe et disposition générale des condensateurs à eau douce. — 2. Condensateur du docteur Normandy. — 3. Condensateur Perroy. — 4. Condensateur de l'amirauté anglaise. — 5. Appareil distillatoire complet : bouilleur, condensateur, aérateur et filtre. — 6. Appareils pour filtrer l'eau. — 7. Cuisines de navire.

N° 52_1 Principe et disposition générale des condensateurs à eau douce. — Les condensateurs sont de véritables condenseurs à surface destinés à faire avec de l'eau de mer, de l'eau douce immédiatement potable. Cette eau doit être limpide, aérée, sans mauvais goût et sans odeur. Ces conditions sont indispensables au point de vue hygiénique, et doivent être réalisées au moment de la production, afin que l'eau puisse être emmagasinée dans les caisses de la cale, sans qu'il soit besoin de lui faire subir aucune opération ultérieure d'aération ou de purification.

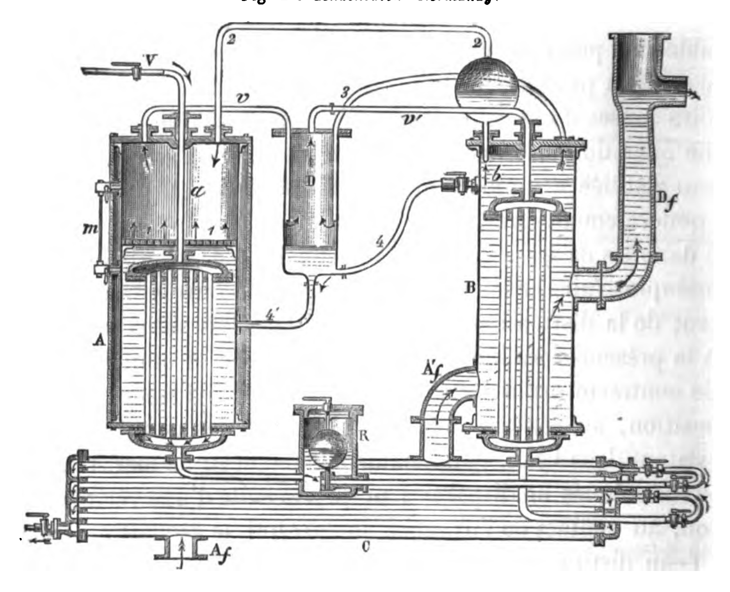
L'eau distillée a toujours un goût nauséabond qui fait qu'elle ne peut généralement être bue qu'après un séjour plus ou moins prolongé dans les caisses. Ce défaut de l'eau distillée ne provient pas de son manque d'air. Le docteur *Normandy* a découvert que l'eau qui provient de la distillation, faite surtout dans des vases métalliques, doit à la présence des huiles empyreumatiques, le goût nauséabond qu'elle contracte ordinairement. Ces huiles proviennent de la décomposition, au contact de la tôle chauffée, des corps organiques qui existent dans l'eau, et notamment dans l'eau de mer. Ces huiles empyreumatiques ne disparaissent qu'à la suite d'une véritable combustion, au contact de l'oxygène de l'air qui se dissout à la longue dans l'eau distillée.

Pour produire de l'eau douce immédiatement potable, les condensateurs doivent être disposés pour que l'eau distillée soit aérée pendant sa condensation, de façon que la combustion des huiles empyreumatiques qu'elle contient soit effectuée avant la sortie de l'eau douce de l'appareil. La condensation doit par suite, s'effectuer à une

température relativement basse, puisque l'eau ne dissout pas l'air aux températures de 45° et au-dessus. — Dans ses dispositions générales, un condensateur doit comprendre : une chaudière pour former la vapeur; un réfrigérant pour condenser cette vapeur formée ; un aérateur destiné à charger l'eau de tout l'air qu'elle est capable de dissoudre; enfin, un filtre dans lequel se fait la combustion des matières empyreumatiques, grâce à l'extrême division de l'eau que l'on fait passer à travers des corps poreux.

N° 52₂ Condensateur du docteur Normandy. — Après avoir découvert les défauts de l'eau distillée ordinaire, le docteur *Normandy* a construit un appareil destiné à les prévenir. Cet appareil, assez compliqué, a été remplacé depuis, tant en France qu'en Angleterre, par des condensateurs beaucoup plus simples, dont nous donnerons une description détaillée. Pour le condensateur *Normandy*, qui est représenté par la *fig.* 23, nous nous bornerons à une description succincte, suffisante pour faire comprendre le principe.

Fig. 23. *Condensateur Normandy.*



Cet appareil comporte un bouilleur A et deux réfrigérants B, C, tous trois tubulaires et cylindriques. Le bouilleur A et le réfrigérant B sont verticaux; le deuxième réfrigérant C est horizontal et se trouve placé au-dessous des deux premiers. Dans le bouilleur comme dans les réfrigérants, la vapeur est dans l'intérieur des tubes; la chambre à eau est à l'extérieur. — Le bouilleur A et le réfrigérant B sont surmontés de capacités

cylindriques *a* et *b*. La première *a* communique avec la chambre à eau du bouilleur par la crépine 1; elle communique, d'autre part, avec la chambre à vapeur du réfrigérant B par les tuyaux *v*, *v'* et par l'intermédiaire de l'épurateur D. La capacité cylindrique *b* fait partie de la chambre à eau du réfrigérant B; elle communique, d'une part, avec la capacité *a*, par l'intermédiaire du tuyau 2 sur le parcours duquel se trouve une capacité sphérique, et, d'autre part, avec la chambre à eau du bouilleur A, par l'intermédiaire des tuyaux 4, 4' et de l'épurateur D. — Le tuyau 3 amène dans l'épurateur D la vapeur d'évacuation du petit cheval qui refoule l'eau froide dans les réfrigérants. — Les tubes du réfrigérant horizontal C sont fractionnés en sept groupes; la vapeur condensée dans le bouilleur A parcourt seule les deux premiers groupes, puis se trouve mélangée avec l'eau douce provenant du réfrigérant B. La communication des tubes du réfrigérant B avec ceux du réfrigérant C est libre; mais il n'en est pas de même pour les tubes du bouilleur A. Sur le tuyau qui met en communication les tubes de A avec ceux de C, se trouve une boîte R avec soupape obturatrice chargée par un contre-poids sphérique, qui doit être soulevé par son déplacement dans l'eau. Il résulte de cette disposition, que l'eau seule peut circuler par cette soupape, à l'exclusion de la vapeur. — Voici maintenant comment fonctionne l'appareil :

L'eau de la mer, refoulée par un petit cheval, arrive par le tuyau A_f et pénètre dans le réfrigérant C, où elle entoure les tubes; elle sort par le tuyau A'_f, et passe ensuite dans le réfrigérant B, où elle entoure également les tubes; puis elle est déversée à la mer par le tuyau D_f. — Au moyen des tuyaux 4 et 4' de communication des chambres à eau des réfrigérants B et du bouilleur A, on met dans ce dernier une certaine quantité d'eau, jusqu'à la hauteur marquée par un tube de niveau *m*; le robinet obturateur du tuyau 4 est ensuite fermé et l'appareil est alors prêt à fonctionner.

La vapeur de la chaudière est amenée par le tuyau V dans les tubes du bouilleur A et s'y condense; l'eau seule, à l'exclusion de la vapeur, peut se rendre dans les tubes du réfrigérant C, en franchissant le régulateur R, dont la soupape est soulevée. La vapeur ainsi condensée cède aux tubes du bouilleur A et, par suite, à l'eau qui les entoure et qui n'est pas renouvelée, son calorique latent de vaporisation. Il en résulte la formation d'une certaine quantité de vapeur dans la chambre à eau de ce bouilleur. Cette vapeur franchit la crépine 1, qui empêche les entraînements d'eau, remplit la capacité *a* et se rend dans l'épurateur D en suivant le tuyau *v*, remonte par le tuyau *v'* et se rend enfin dans les tubes du réfrigérant B, où elle se condense. L'eau douce provenant de cette condensation passe ensuite dans les tubes du réfrigérant C, où elle se refroidit. — Finalement, l'eau douce qui sort du réfrigérant C aboutit à un filtre, dans lequel les matières empyreumatiques sont brûlées, grâce à l'air que l'eau contient. Voici comment cet air lui a été donné :

Par suite de son échauffement dans le réfrigérant B, l'eau de circulation laisse dégager l'air qu'elle contient. Cet air monte à la partie supérieure

du liquide, dans la capacité *b* et se rend dans la chambre *a* par le tuyau 2; là elle se mélange avec la vapeur formée dans le bouilleur A. Les deux gaz se rendent ensemble dans les tubes du réfrigérant B, et l'eau qui passe de ce réfrigérant dans le filtre se trouve ainsi aéré. La quantité d'air qu'elle contient est environ cinq fois plus grande que celle que contenait l'eau avant sa vaporisation; il y en a, par suite, une quantité suffisante pour aérer l'eau qui provient directement du bouilleur A.

L'appareil que nous venons de décrire sommairement est économique, puisque la même quantité de chaleur dépensée à la chaudière fournit deux vaporisations; mais il est très-compliqué et d'une conduite délicate, et, ainsi que nous l'avons dit, son usage ne s'est pas répandu.

N° 52_3 Condensateur Perroy. — Ce condensateur est réglementaire dans la marine française; il est construit par l'usine *Mourraille et Cie*, à Toulon. — Le type employé jusqu'à ces dernières années est représenté par la *fig.* 26, *pl.* VI; il est décrit en détail dans la légende de cette planche. La *fig.* 24 du texte représente un nouveau type récemment adopté, et auquel la légende de la *fig.* 26, *pl.* VI convient, sauf les modifications et additions suivantes :

Vue 1°. Coupe verticale dans le condensateur, l'aérateur et le filtre, tout le système étant ramené dans un même plan.
Vue 2°. Coupe horizontale suivant XX de la vue 1°.
Vue 3°. Coupe verticale suivant YY de la vue 1°.

A Corps extérieur du condensateur. C'est une caisse en tôle zinguée dont les diverses parties sont assemblées au moyen des cornières a_1.
B Plaques à tubes, en bronze, rapportées sur la caisse A. — Les tubes *a* traversent librement les plaques B, de même que les plaques de serrage B', et le joint est fait au moyen de rondelles en caoutchouc enfilées sur les tubes, et comprimées entre les plaques B et B'.
b Cornières rivetées sur les plaques à tubes B et servant de moyen de fixation au condensateur.
e Cloisons du filtre, disposées pour que l'eau ait quatre parcours dans l'appareil.
g Entonnoir dans lequel le tuyau G déverse l'eau provenant du condensateur, et qui doit traverser le filtre.
g' Tuyau conduisant l'eau potable dans les caisses à eau de la cale.
9 Robinet d'air du filtre.

Le condensateur Perroy n'est autre chose qu'un condenseur avec vapeur dans les tubes, et avec circulation multiple, grâce aux nombreuses coquilles que forment les portes C, C. — L'appareil comprend trois parties principales : l'*aérateur*, le *réfrigérant* et le *filtre*.

L'*aérateur* E, est représenté à grande échelle par la *fig.* 26 *bis*, *pl.* VI, et décrit dans la légende de cette planche. Il est placé sur le parcours du tuyau qui amène la vapeur, un peu avant l'arrivée au réfrigérant. Cet organe est destiné à mélanger une grande quantité d'air avec la vapeur qui entre dans l'appareil. Une partie de cet

air doit comburer les matières empyreumatiques; une autre partie doit rester dissoute dans l'eau distillée. L'aérateur se compose de

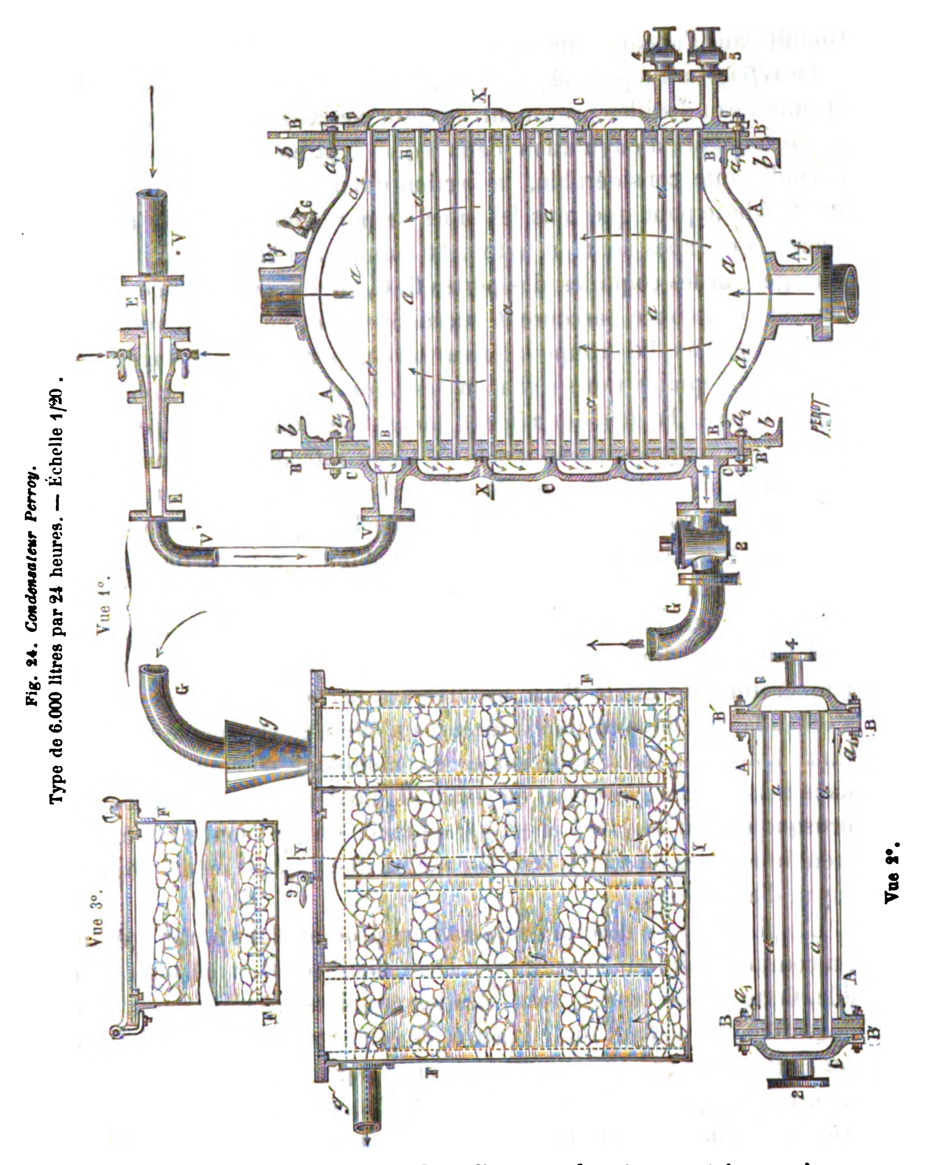


Fig. 24. Condensateur Perroy.
Type de 6.000 litres par 24 heures. — Échelle 1/20.

deux cônes s'emboîtant l'un dans l'autre; le cône extérieur, aboutissant au réfrigérant par le tuyau V', communique avec l'air ambiant par deux petits robinets qui règlent l'entrée de l'air. Le cône

intérieur amène des chaudières, la vapeur destinée à produire de l'eau douce. En pénétrant d'un cône dans l'autre, cette vapeur produit une aspiration très-énergique, à la manière d'un giffard, et introduit dans l'appareil une quantité considérable d'air.

Le *réfrigérant* a pour objet de condenser la vapeur, et de refroidir ensuite l'eau distillée provenant de cette condensation. C'est un appareil tubulaire à circulation, dans lequel tout en ayant une surface refroidissante considérable, la section du passage de la vapeur est assez réduite pour que tous les tubes se partagent la vapeur à condenser. Ces tubes sont en laiton, et étamés à l'étain fin; ils sont partagés par les coquilles des portes C, C, en dix groupes que la vapeur et l'eau douce parcourent successivement, en sens inverses et de haut en bas. Le groupe inférieur ne comporte qu'une rangée horizontale de quatre tubes; chacun des autres groupes en comporte deux rangées. En fonctionnement normal, les quatre groupes inférieurs sont toujours pleins d'eau. — L'eau refroidissante, prise à la mer par le tuyau A_r, traverse le réfrigérant de bas en haut, et par suite en sens contraire du mouvement de la vapeur. Il résulte de ce croisement de circulation, que l'on peut obtenir, à la sortie de l'appareil, de l'eau douce à une température très-voisine de celle de l'eau de la mer. La circulation de l'eau réfrigérante s'établit par le seul fait de la diminution de densité provenant de la différence de température qui existe dans les diverses parties de la masse, l'eau s'échauffant de plus en plus à mesure qu'elle s'élève dans le réfrigérant. L'appareil peut fonctionner au mouillage comme à la mer; dans tous les cas, le tuyau de sortie D_r ne doit pas faire de coude brusque et doit toujours aller en montant; on lui donne généralement une pente de 17cm à 20cm par mètre. Il en est de même pour le tuyau d'arrivée A_r.

L'aspiration que détermine l'aérateur, produit dans le réfrigérant un courant d'air qui circule avec l'eau distillée et se mélange avec elle. Cette eau se trouve ainsi, dès les premiers instants de sa condensation, et pendant toute la durée de son séjour dans l'appareil, en contact avec de l'air qu'elle dissout autant que le comporte la température à laquelle elle se trouve. Cette température est un élément très-important de la question, car on sait que de l'eau chauffée à 45°, perd tout l'air qu'elle contenait en dissolution. Pour obtenir de l'eau aérée, il faut nécessairement produire cette eau à une température notablement inférieure. Le chiffre de 35° est un maximum qu'il ne

faut pas dépasser. En général, l'eau distillée est refroidie jusqu'à la température de 30° à 32°.

Le *filtre*, ou la caisse en tôle F, qui contient le noir animal destiné à faciliter la combustion des matières empyreumatiques, peut être placé dans un endroit quelconque du navire. On peut même, si cela est nécessaire, l'élever de 2^m à 3^m au-dessus du niveau de l'orifice par lequel l'eau douce sort du réfrigérant. L'eau monte alors à la hauteur voulue, sous l'action de la pression produite dans l'intérieur des tubes, par l'air aspiré et refoulé par l'aérateur. Cette faculté d'élever l'eau à une certaine hauteur, est d'une grande importance; elle permet d'obtenir un écoulement naturel dans les caisses à eau de la cale, tout en plaçant le réfrigérant assez bas pour que le débouché à la mer du tuyau D_r, n'émerge pas lorsque le navire est lége ou qu'il donne de la bande. — Lorsque l'élévation de l'eau douce au-dessus de l'orifice de sortie du réfrigérant, dépasse $0^m,70$, l'aérateur représenté par la *fig.* 26 *bis*, *pl.* VI, n'agit plus assez énergiquement. M. *Huin* a été amené à lui substituer sur le *Japon*, un aérateur (n° 63_4) qui se distingue du précédent par la conicité plus prononcée du cône extérieur, par l'augmentation des diamètres du cône intérieur, et enfin par l'addition, au débouché de ce dernier cône, d'une toupie en bronze maintenue par trois vis, et rendant le jet de vapeur annulaire. Au moyen de cet aérateur, l'eau a pu être élevée jusqu'à 3^m de hauteur.

Dans tous les cas, pour faire fonctionner l'appareil, il faut commencer par établir la communication avec la mer, en ouvrant les robinets des tuyaux A_r, D_r, ainsi que le robinet de dégagement d'air 6, les robinets de vidange étant fermés. — Si l'eau douce ne doit pas être élevée pour arriver au filtre, le robinet d'air 4 reste ouvert, le robinet 3 étant fermé, et l'on met le réfrigérant en communication avec la chaudière et avec l'atmosphère, par l'ouverture du robinet de prise de vapeur placé sur le tuyau V, et par celle des deux robinets de l'aérateur. Le mélange d'air et de vapeur circule dans les tubes et la vapeur se condense en se saturant d'air ; la partie de ce gaz qui n'a pas été dissoute s'écoule par le robinet 4. — Une fois l'appareil en marche, on règle l'ouverture du robinet de vapeur pour obtenir de l'eau dont la température ne dépasse pas 32°. D'un autre côté, on diminue l'ouverture du robinet 4 jusqu'à ce qu'il ne sorte plus que de l'air par ce robinet. — Dans ces conditions, l'eau douce se rend dans la caisse de noir animal chargée d'une quantité

d'air plus que suffisante pour comburer les matières empyreumatiques.

Lorsque l'eau douce doit être élevée en sortant du réfrigérant, celui-ci étant en contre-bas de la caisse de noir animal, le robinet d'air *h* doit être tenu fermé. La pression de l'air s'élève alors suffisamment dans les tubes du réfrigérant, pour élever l'eau douce à la hauteur voulue. L'air sort mélangé avec l'eau par le tuyau G, et la partie en excès s'échappe dans l'atmosphère, quand l'eau s'écoule du tuyau G dans l'entonnoir *g* pour pénétrer dans le filtre. — Lorsque l'appareil est réglé, il n'y a plus à y toucher à moins qu'il ne se produise une variation considérable de pression à la chaudière.

Dans le filtre que l'eau traverse en quatre parcours verticaux, se trouvent des couches alternées de noir animal et de cailloux. Le noir animal agit seul comme matière poreuse, et c'est à son contact que l'oxygène d'une partie de l'air dissous dans l'eau brûle les huiles empyreumatiques. Le résultat de la combustion est de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique. — De plus, les impuretés que la vapeur peut avoir entraînées en sortant des chaudières, sont arrêtées dans le filtre. — L'eau sort immédiatement potable pourvu que son séjour dans la caisse de noir animal soit de trois quarts d'heure environ. Ce résultat est obtenu par la faible charge qui détermine la circulation de l'eau dans le filtre, et qui est produite par la colonne d'eau dont la hauteur est l'élévation du niveau de l'eau dans l'entonnoir au-dessus de l'orifice de sortie du filtre. C'est surtout pour avoir cette circulation lente, qu'on n'a pas fait le joint du tuyau G avec le filtre. Lorsque ce dernier ne peut pas débiter toute l'eau produite par le réfrigérant, il y a déversement par l'entonnoir *g*, et il faut alors réduire l'ouverture de la prise de vapeur.

Avec une chaudière spéciale pour distiller l'eau de mer, le noir animal s'encrasse très-peu, et peut servir pendant longtemps sans qu'on ait besoin de le nettoyer. — Avec la vapeur des chaudières de la machine, surtout depuis l'introduction des condenseurs à surface, il faut démonter assez souvent le filtre pour laver le noir animal et le débarrasser des impuretés qui obstruent ses pores. Cette opération s'effectue très-rapidement, car le couvercle du filtre est mobile. — De leur côté, les tubes du réfrigérant doivent être démontés de temps à autre pour être nettoyés, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur.

Au repos, la prise de vapeur et les communications avec la mer étant fermées, l'appareil est vidé, aussi bien le filtre que les deux

chambres du réfrigérant, par l'ouverture des robinets d'air et des robinets de vidange. L'aérateur se vide par son robinet d'air inférieur. Un petit trou de 3^{mm} pratiqué sur chacune des cloisons horizontales des portes C, C, au milieu de sa longueur, permet à l'eau que renferment les coquilles de s'écouler.

Il existe trois grandeurs du type de l'appareil qui nous occupe, pouvant produire 10.000 litres, 6.000 litres et 3.500 litres d'eau par vingt-quatre heures.

N° 52_6 Condensateur de l'amirauté anglaise. — La marine anglaise de commerce emploie le condensateur *Normandy* (n° 52_2), simplifié par la suppression de l'un des réfrigérants. Le seul qui reste reçoit à la fois la vapeur provenant du bouilleur et celle qui s'est condensée dans ce bouilleur. L'alimentation se fait par une prise d'eau sur le conduit d'évacuation de l'eau de circulation du réfrigérant.

L'amirauté anglaise n'a pas adopté d'une manière générale le condensateur *Normandy;* elle emploie un appareil d'une extrême simplicité, composé d'une série de tubes verticaux en bronze, débouchant à chaque extrémité dans une boîte formée par deux plaques du même métal. Le tout est dans une caisse que traverse l'eau réfrigérante. La vapeur passe dans les tubes, sans être obligée de suivre un circuit déterminé. Les tubes et les boîtes extrêmes sont entourés d'eau de mer, qui circule par le tirage naturel dû à l'échauffement. Les conduits d'arrivée et d'évacuation de cette eau sont munis de soupapes Kingston. — Aucune disposition n'a été prise, soit pour assurer la circulation régulière de la vapeur, soit pour aérer l'eau douce. La seule disposition particulière que présente ce condensateur consiste dans un ensemble de tuyaux permettant, au moyen de la pression de la vapeur, que l'on peut faire arriver en abondance, de faire monter l'eau aux étages supérieurs du bâtiment.

N° 52_7 Appareil distillatoire complet : bouilleur, condensateur, aérateur et filtre. — Avec les réfrigérants *Perroy* seuls (n° 52_3), et surtout depuis l'adoption des condenseurs à surface, la vapeur qui sort des chaudières entraîne des quantités notables de matières grasses dont le filtre ne peut débarrasser l'eau, parce qu'il s'encrasse avec une très-grande rapidité. L'appareil représenté par la *fig.* 1, *pl.* VIII, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, est destiné à obvier à cet inconvénient en distillant l'eau de mer dans un récipient spécial, la vapeur étant condensée dans un réfrigérant *Perroy.* — Voici comment fonctionne cet appareil :

Le réfrigérant E se met en communication avec la mer, comme il a été expliqué au n° 52_3. Pour le bouilleur, tous les robinets d'extraction étant fermés, et le tuyau 16 ouvert pour l'évacuation de l'air, on fait le plein. A cet effet, on commence par s'assurer du fonctionnement de l'automoteur d'alimentation en le mettant en mouvement, après avoir démonté la petite calotte qui surmonte la tige supérieure de son flotteur, puis on

ouvre le robinet 2. Le niveau s'établit à la hauteur voulue et, à ce moment, les deux robinets t sont fermés par le flotteur. — Le robinet du tuyau b_1''' de purge d'air étant ouvert, on ouvre d'une très-petite quantité le robinet de prise de vapeur 13. L'air que contient la chambre de chauffe à vapeur est chassé par le tuyau b_1 dans la caisse B_1, puis expulsé par le tuyau b_1'''. Lorsque la vapeur sort par ce tuyau, l'ouverture de son robinet est diminuée jusqu'à ne laisser échapper qu'un léger filet de vapeur. La vaporisation étant établie, la vapeur sort par le tuyau 16, et le robinet obturateur de ce tuyau est fermé. A partir de ce moment, la pression monte dans le bouilleur. Dès que cette pression a atteint le degré voulu, les robinets de prise d'air de l'aérateur sont ouverts, ainsi que les robinets 5 et 6 de la caisse de purge C. Le robinet 6 est fermé dès qu'il donne de la vapeur, puis on ouvre les robinets 7. Le courant de vapeur s'établit du bouilleur au réfrigérant et l'aérateur s'amorce. Le robinet 8' du réfrigérant étant demeuré ouvert, laisse d'abord échapper de l'air, puis de l'eau. Ce robinet ne doit être fermé que lorsque l'eau sort aussi par le tuyau f, qui la conduit au filtre. A partir de ce moment, il n'y a plus qu'à régler l'ouverture du robinet de prise de vapeur 13, pour maintenir la pression aussi constante que possible.

La vapeur qui vient des chaudières amène avec elle une certaine quantité d'air qui ne se condense pas. Cet air est expulsé, par la vapeur elle-même, de la chambre à vapeur de chauffe a_1, par le tuyau b_1, et se rend dans la caisse de purge B_1, d'où il sort par le tuyau b_1''' dont le robinet est toujours un peu ouvert. La partie de la chambre à vapeur de chauffe a_1, en contre-bas du tuyau b_1 (vue 2°), contient seule de l'eau provenant de la condensation, par suite de la chaleur cédée à l'eau qui se vaporise dans le bouilleur. Dès que le niveau tend à s'élever, la vapeur chasse l'eau par le tuyau b_1 dans la caisse B_1, qui, comme nous l'avons dit, se purge de temps à autre.

Les extractions de l'eau concentrée dans le bouilleur par suite de la vaporisation, doivent être complètes et effectuées toutes les deux heures environ. A cet effet, le fonctionnement est arrêté : les robinets 5 et 7 sont fermés ainsi que le robinet d'alimentation 2; on laisse monter la pression pour qu'elle puisse vaincre la colonne d'eau extérieure, puis on vide le bouilleur en ouvrant le robinet 12, après avoir fermé le robinet de prise de vapeur 13. La fin de l'extraction est signalée par la baisse rapide de la pression, et par l'impossibilité de la faire remonter en rouvrant un instant le robinet de prise de vapeur. — Cette opération terminée, il faut ouvrir les robinets 5 et 7 pour prévenir la formation du vide; on ouvre ensuite le robinet d'alimentation 2. Dès que le niveau apparaît dans le tube, il faut ouvrir un peu le robinet de prise de vapeur 13, afin de commencer à réchauffer de suite, et ouvrir largement quand l'eau a atteint son niveau. On profite de cette période pour purger. — Bientôt la pression se rétablit, et on remet en marche.

Pour un réfrigérant *Perroy*, deuxième grandeur, la surface tubulaire de chauffe du distillateur est d'environ 14$^{dm.q.}$,6 par litre d'eau à produire en une heure.

Cet appareil est compliqué et d'une conduite difficile; il est préférable de n'employer que le réfrigérant *Perroy* avec une petite chaudière spéciale pour former la vapeur.

N° 52_6 Appareils pour filtrer l'eau. — De bons filtres, tant pour la purification de l'eau que pour sa clarification mécanique, seraient très-utiles à bord des navires. L'eau douce dont on s'approvisionne à terre, n'est pas toujours saine, et dans certaines stations lointaines, notamment sur les côtes de la Chine, l'usage prolongé de l'eau des fleuves à l'état naturel finit par altérer la santé des équipages.

Les filtres en grès, en sable, en laine tontisse, excellents pour la purification mécanique de l'eau, n'ont aucune action sur sa pureté chimique, et sont, par suite, insuffisants pour l'usage que nous venons d'indiquer. Le charbon, par ses propriétés absorbantes, agit comme purificateur, surtout sous la forme de noir animal; mais ce charbon se dénature à la longue; et alors non-seulement il peut perdre de son efficacité, mais il peut vicier l'eau qui le traverse. D'ailleurs, le noir animal exerce sa réaction sur certaines substances, telles que l'acide carbonique, qu'il importe de conserver pour laisser à l'eau toute sa fraîcheur.

Les *charbons silicatisés*, de la compagnie anglaise de ce nom, sont formés de charbon uni intimement avec la silice très-divisée, ils ont l'aspect des agglomérés ordinaires de charbon qui auraient été comprimés. Dans cet état, le charbon joint à ses propriétés ordinaires, une action oxydante qui détruit les matières organiques, et l'acide carbonique qui en résulte augmente la fraîcheur de l'eau. La couche de charbon nécessaire à la filtration est peu considérable; le filtre n'a, par suite, qu'un faible encombrement. Cette couche est reliée aux parois du vase qui la contient par un ciment insoluble et imperméable, en sorte que toute l'eau passe nécessairement à travers la matière filtrante. On peut, d'ailleurs, installer deux ou trois couches de charbon silicatisé, séparées par des couches de charbon ordinaire en poussière. — Le nettoyage de l'instrument se fait en refoulant l'eau sans grande pression, en sens inverse dans le filtre.

M. *Spencer* a d'abord proposé, comme matière filtrante, l'oxyde magnétique de fer, auquel il attribue la pureté des sources provenant des terrains anciens; puis il a employé une substance particulière à laquelle il a reconnu les mêmes propriétés, et qu'il fabrique sous le nom de protocarbure magnétique de fer. Cette substance a l'aspect d'une grenaille métallique très-fine; elle doit être disposée en couches très-épaisses dans le filtre; l'eau qui la traverse doit passer tout d'abord à travers une paroi en terre cuite percée de petits trous, qui arrête les objets les plus gros que l'eau tient en suspension, et empêche le protocarbure de se salir trop vite. — Ce mode d'épuration donne de l'eau très-fraîche.

Comme les matières filtrantes dont nous venons de parler ne sont pas en approvisionnement sur nos bâtiments, nous croyons utile de donner ici, la description d'un filtre employé sur le *Bourayne* d'abord et ensuite sur la *Belliqueuse*, dans la station des mers de *Chine* et du *Japon*. Ce filtre est en tôle zinguée de forme cylindrique, d'un diamètre de $0^m,600$

environ et d'une hauteur totale de 1m,100. Il est partagé, du haut vers le bas, en quatre compartiments horizontaux ayant respectivement : le premier, 0m,300, le deuxième, 0m,200, le troisième, 0m,400, et enfin le quatrième, 0m,200 de hauteur. L'eau naturelle est versée dans le compartiment supérieur, et un tube traversant les deux compartiments intermédiaires, l'amène dans le compartiment inférieur. Ce dernier est surmonté d'une partie cylindre empiétant sur le troisième compartiment, et percée d'un grand nombre de trous formant crépine. Dans le troisième compartiment se trouvent les matières filtrantes composées de couches alternées, de bas en haut, de : *cailloux*, *brique pilée*, *sable*, *charbon de bois*, *noir animal*, *sable*, *brique pilée*, *cailloux*. Les couches de *sable* et de *noir animal* sont un peu plus épaisses que les autres. L'eau traverse ces diverses couches de bas en haut, et débouche dans le deuxième compartiment dont la base est percée de petits trous, pour assurer le passage de cette eau tout en empêchant un écoulement trop rapide. La partie supérieure de ce deuxième compartiment est en communication avec l'atmosphère par un tuyau traversant le compartiment supérieur. Le robinet de sortie de l'eau est placé à la base du deuxième compartiment. — Ce filtre a donné de très-bons résultats, et a rendu de grands services. Les matières en suspension dans l'eau se déposent dans le compartiment inférieur, d'où on les enlève de temps à autre par une porte de visite.

N° 52_7 Cuisines de navire. —Les cuisines distillatoires qui avaient le double objet de fournir de l'eau distillée et de faire cuire les aliments de l'équipage, ont cessé d'être employées dans la marine. On n'en rencontre plus que quelques rares spécimens du type *Rocher de Nantes*, et dont la description est donnée au n° 137_4 du *Grand Traité*. — Actuellement, les aliments sont préparés dans des chaudières chauffées directement, soit au charbon soit au bois. Pour faire de l'eau douce, on emploie le condensateur *Perroy* que nous avons décrit au n° 52_3, alimenté par une chaudière spéciale ou bien par les chaudières de la machine. Une cuisine distillatoire ne saurait fournir la vapeur à un pareil condensateur, parce que l'aération de l'eau exige, pour la vapeur venant des chaudières, une pression que cette cuisine distillatoire ne saurait supporter.

Les cuisines d'équipage employées dans la marine française sont généralement confectionnées dans les arsenaux, on en fait actuellement de trois types différents. Ces différentes cuisines ont toutes la forme d'un parallélipipède rectangle à base carrée, et la hauteur est d'environ les quatre cinquièmes du côté de la base. La carcasse est formée de barres de fer carré, réunies entre elles à l'aide de tenons rivés; l'enveloppe, les compartiments intérieurs et les chaudières sont en tôle; l'épaisseur est de 3mm à 5mm pour les chaudières et l'enveloppe, et de 6mm à 8mm pour les cloisons intérieures. Les faces latérales du fourneau sont revêtues d'une couche de briques réfractaires; la partie supérieure, ou tablette de cuisine, est une plaque de fonte de deux à trois centimètres d'épaisseur, pouvant servir de plaque chaude.

Ancienne cuisine. — Dans l'ancienne cuisine d'équipage, qui est encore

fréquemment employée, le fourneau a sa porte sur le milieu de l'une des faces latérales; la grille s'étend sur presque toute la longueur de la cuisine et sa largeur est d'environ le tiers de la longueur. De chaque côté de la grille sont des espèces d'autels en tôle rivetées contre les enveloppes, et formant les dômes de deux fours ménagés de chaque côté du fourneau; le cendrier s'étend sur toute la longueur de la grille et a pour fond la tôle formant le fond de la cuisine, cette tôle est élevée de 7 à 8 centimètres au-dessus du pont. Les barreaux de grilles sont en fer carré, les diagonales étant verticales et horizontales quand ces barreaux sont en place. La tablette est percée de nombreux trous pour recevoir les chaudières; sur la partie gauche de la tablette, en faisant face au fourneau, et l'un derrière l'autre, sont percés deux trous carrés dans lesquels s'emboîtent les deux grandes chaudières de l'équipage; la partie de droite est percée de six ou de huit trous ronds de petite dimension, pour recevoir des chaudières cylindriques, habituellement destinées au service des maîtres, des seconds maîtres et de l'hôpital.

Les chaudières plongent dans le fourneau des deux tiers de leur hauteur environ; la flamme les enveloppe, puis les gaz chauds se rendent directement à la cheminée qui est placée au milieu de la façade opposée à la porte du fourneau.

Cuisine Pyronneau. — La cuisine *Pyronneau* est aujourd'hui très-employée et tend à remplacer l'ancienne cuisine d'équipage. Elle a la même forme extérieure que cette dernière, mais elle s'en distingue par la disposition des courants de flamme et par la suppression des petites chaudières cylindriques. Dans cette cuisine, la caisse est divisée en deux compartiments égaux par une cloison verticale s'étendant sur toute sa largeur; l'un de ces compartiments constitue la cuisine d'équipage proprement dite; l'autre forme la cuisine des aspirants et celle des maîtres, séparées par une cloison verticale perpendiculaire à la première. Le fourneau principal se trouve dans le compartiment de la cuisine d'équipage, la porte débouche sur le milieu de la façade latérale parallèle à la grande cloison transversale, le fourneau s'étend d'ailleurs jusqu'à cette cloison qui lui sert d'autel, et qui, pour ce motif, est revêtue de briques réfractaires. La largeur de la grille est d'environ le quart de celle de la cuisine; au-dessous du fourneau, et de chaque côté du cendrier, sont des fours pour la cuisson des rôtis; les dômes extérieurs de ces fours sont garnis de briques formant, par côté, des autels au fourneau.

La partie de la tablette de la première cuisine est percée de trois trous: celui du milieu, qui est directement au-dessus de la grille, est rectangulaire et sert à recevoir le brûloir à torréfier le café; les deux autres, qui sont à droite et à gauche du premier, sont carrés et reçoivent les chaudières d'équipage qui plongent dans le fourneau de la moitié de leur hauteur environ. La flamme enveloppe les chaudières, puis se divise en deux gerbes l'une à droite et l'autre à gauche; chacune de ces gerbes passe à travers un trou pratiqué dans la cloison transversale pour aller, d'un côté dans la cuisine des aspirants, et de l'autre dans celle des maîtres.

Dans chacune de ces cuisines, la flamme parcourt de petits carneaux ménagés autour d'un four en tôle placé à la base de chacune de ces petites cuisines, puis de là le courant se rend à la cheminée; cette dernière est à l'intersection des cloisons verticales, c'est-à-dire au centre de la tablette.

La cuisine *Pyronneau* permet de supprimer à bord deux cuisines spéciales; celle des aspirants et celle des maîtres, et cela sans être plus volumineuse que l'ancienne cuisine, pour les bâtiments du même type.

Les petites cuisines des aspirants et des maîtres faisant partie de la cuisine *Pyronneau*, ont beaucoup d'analogie avec les cuisines *Huretz;* leur tablette possède trois trous ronds : au-dessous de celui du milieu se trouve la grille; les deux autres trous, placés par côté du premier, sont léchés par la flamme qui, avant d'arriver à la cheminée, parcourt des carneaux formés par la tablette et une cloison parallèle placée à quelques centimètres au-dessous. La tablette forme aussi une plaque chaude sur laquelle on fait cuire les aliments. Les divers trous peuvent être recouverts par des couronnes en fer s'emboîtant les unes dans les autres.

Dans la *marine anglaise*, les cuisines comportent deux parties distinctes : à gauche, la cuisine des officiers formée d'un feu ouvert pour rôtir, d'une chaudière et enfin d'une plaque chaude pour cuire les mets de toute nature. Tout le reste de la cuisine est affecté au service de l'équipage : un seul foyer chauffe cette partie de l'appareil; au-dessus de ce foyer se trouvent deux grandes chaudières, et sur le côté, deux fours à rôtir situés dans le prolongement l'un de l'autre et s'ouvrant l'un d'un bord et l'autre de l'autre bord. La flamme du foyer dirigée par des carneaux, circule tout autour des fours et des chaudières; puis avant de se rendre dans la cheminée, elle vient envelopper encore et chauffer un double four situé à la partie supérieure de l'appareil et destiné à la cuisson du pain.

Ces dispositions ne diffèrent essentiellement des nôtres que par les dimensions des fours à rôtir, par celles des chaudières, et par l'addition des fours à pain. La première modification se rattache à des différences d'habitude entre les deux nations, et change peu, du reste, le caractère de l'appareil. La seconde est une innovation importante qui date déjà d'une dizaine années; elle permet la suppression du four spécial à pain, four toujours très-encombrant à cause de son massif en maçonnerie, et la substitution du charbon au bois pour la cuisson du pain. — Cette dernière disposition a été aussi essayée sur quelques cuisines françaises, mais avec le four au-dessous, ce qui place les chaudières beaucoup trop haut pour le service du coq. — Les cuisines qui sont de très-grandes dimensions ont deux fourneaux.

CHAP. III, § 4. — ORGANES DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT. — GRAISSEURS. — APPAREILS POUR TRANSMISSION DES ORDRES.

N° 53. — 1. Dispositions actuelles des jougs. — 2. Arbres de couche à trois ou à quatre vilebrequins. — 3. Mode récent de fixation des machines sur les carlingues. — 4. Graisseurs nouveaux pour cylindres à vapeur et pièces fixes, et pour tête et pied de bielle. — 5. Dispositif actuel de graissage et de lubrifiage des machines marines.

N° 53_1 Dispositions actuelles des jougs. — Dans le type des machines horizontales à trois cylindres d'*Indret*, *sect.* 1, *pl.* III, les condenseurs par mélange sont reportés aux extrémités avant et arrière de la machine, et laissent les pieds de bielles à découvert. Il en est de même dans toutes les machines munies de condenseurs à surface. Par suite de cette disposition, les jougs des tiges de piston, ou traverses de pied de bielle, ne sont guidés que par la partie inférieure de leurs coulisseaux. On rencontre trois systèmes principaux. Sect. 1, Pl. III

1° Le *système d'Indret*, *sect.* 1, *pl.* III, appliqué sur les machines à condensation par mélange. La traverse *u*, sur les bras de laquelle sont fixées les tiges de piston, est boulonnée sur un coulisseau *g* ayant la forme d'un U. La base rectangulaire de ce coulisseau est garnie d'antifriction et s'appuie sur la glissière. Cette dernière est formée par une partie dressée et avec rebords, de la plaque de fonte qui prolonge la base du condenseur. Les branches du coulisseau sont assez élevées pour que le pied de bielle ait son mouvemen d'oscillation libre au-dessus d'une forte pièce de fer dressée, boulonnée par ses extrémités sur la plaque de fondation, et servant de glissière pour la marche arrière.

2° Le *système d'Indret*, *sect.* 1, *pl.* IV, appliqué sur les machines à condensation par surface. La traverse formant glissière pour la marche arrière est supprimée; elle est remplacée par deux glissières latérales boulonnées sur la plaque de fondation, et emprisonnant les rebords rectangulaires de la base du coulisseau. Ce dernier a toujours la forme en U; mais ses branches sont beaucoup moins élevées que dans le type précédent. Il est presque exclusivement employé par toutes les usines françaises pour les machines horizontales. — Dans les types récents, les deux branches verticales du coulisseau sont très-écartées: le tourillon du pied de bielle présente une grande Sect. 1, Pl. IV.

longueur, et la surface frottante du coulisseau est notablement augmentée, ce qui diminue les chances d'échauffement. Le palier du pied de bielle est muni de deux boulons de serrage.

Sec. 2, Pl. IV. 3° Le *système d'Indret*, *sect.* 2, *pl.* IV, appliqué sur les croiseurs *Sané*, *Champlain* et *Infernet*. La glissière est formée comme dans le type précédent; mais le coulisseau porte, du côté du cylindre, un palier dans lequel oscille le tourillon du pied de bielle. Ce pied de bielle est à fourche pour embrasser le palier, et le tourillon est claveté sur lui.

Pour les machines verticales de grande puissance, la glissière est double; elle est formée par les bâtis, comme le montrent la *sect.* 1, *pl.* I, les *sect.* 2 et 4, *pl.* II, et la *fig.* 1, *pl.* V. La bielle est à fourche et à paliers; elle se monte sur deux tourillons que porte la traverse. D'autres fois, la traverse porte un palier dans lequel oscille le tourillon claveté dans l'une des branches du pied à fourche de la bielle. — Pour les machines moins puissantes, la glissière n'existe que d'un seul côté. Elle est tantôt à joues latérales, comme dans le deuxième type d'*Indret*, ainsi que le montrent la *sect.* 3, *pl.* II, et la *fig.* 2, *pl.* V. Le coulisseau fait partie d'un palier sur lequel se fixe la tige du piston, et dans lequel oscille le tourillon fixé sur l'une des branches du pied à fourche de la bielle. D'autres fois, la glissière est formée par une barre de fer rectangulaire fixée par ses extrémités sur deux talons des bâtis, et le coulisseau porte un œil également rectangulaire, dans lequel est engagé la glissière. Le pied de bielle est toujours à fourche.

N° 53_2 Arbres de couche à trois ou à quatre vilebrequins. — Dans le principe, les arbres de couche à trois vilebrequins ont été construits d'un seul morceau, comme ceux des machines à deux cylindres. Actuellement, les arbres des grandes machines à hélice se font généralement en autant de parties qu'il y a de vilebrequins. Le mode d'assemblage consiste en de petits tourteaux venus de forge avec les bouts d'arbres, et boulonnés à demeure, dans le genre de ce que l'on faisait déjà pour quelques arbres des tiroirs, *sect.* 1, *pl.* III. Les paliers intermédiaires sont naturellement en deux parties pour embrasser les tourteaux de jonction. Cette disposition a d'ailleurs été facilitée par l'écartement des axes des cylindres résultant de l'adjonction de chemises de vapeur à ces organes. — Chaque vilebrequin étant forgé à part, peut être mieux corroyé et présente par suite plus de garanties de solidité; de plus,

en cas d'avarie, la réparation est plus facile, parce qu'il suffit de changer le tronçon avarié. Les vilebrequins étant centrés, les tourteaux sont tournés sur leurs faces de jonction ; on perce sur le centre de l'un d'eux, un trou dans lequel s'ajuste un tenon cylindrique ménagé au centre de l'autre tourteau, ce qui permet de bien placer les axes des divers tronçons en ligne droite. Les vilebrequins étant ensuite calés à l'angle voulu, les tourteaux sont percés et les trous sont ensuite alésés pour recevoir les boulons de jonction. Ces derniers sont ajustés et emmanchés à force. Ce système de jonction n'est pas appelé à être démonté.

Afin d'éviter les frottements latéraux qui résulteraient du déplacement des paliers sous l'influence de la dilatation des cylindres, les arbres de couche ne portent le plus souvent des collets qu'aux paliers du cylindre milieu, ou plus généralement en dedans des deux paliers intermédiaires.

L'arbre de couche des machines du *Tourville* (n° 31_2), qui porte quatre vilebrequins, n'est qu'en deux morceaux. Les deux vilebrequins de l'avant qui sont diamétralement opposés, et les deux de l'arrière, aussi diamétralement opposés, et à angle droit sur les premiers, ont été forgés séparément, puis soudés au portage de l'arbre dans le palier intermédiaire. Chaque double vilebrequin est d'ailleurs supporté par trois paliers; les tourteaux de jonction des deux bouts d'arbres sont placés entre les deux paliers intermédiaires, et appartiennent l'un au groupe des deux machines avant et l'autre au groupe des deux machines arrière.

N° 53_2 Mode récent de fixation des machines sur les carlingues. — Dans un grand nombre des nouvelles machines, la plaque de fondation est supprimée ; les cylindres reposent directement sur les carlingues par des pattes inférieures; ils sont d'ailleurs boulonnés ensemble, comme le montre la *sect.* 1., *pl.* III. Il en est de même des bâtis et des condenseurs. Sect. 1, Pl. III.

Pour les appareils montés sur carlingues en tôle, on interpose entre la machine et les carlingues, une couche de bois de teack, comme le montre la *fig.* 1, *pl.* V. Cette couche de bois permet de donner au plan d'assise de la machine, une régularité que l'on ne pourrait obtenir directement, sans de très-grandes difficultés, dans la construction des poutres en tôle qui forment les carlingues. Le bois a encore l'avantage de donner un peu d'élasticité au boulonnage. Fig. 1, Pl. V.

Dans un appareil très-récent, celui du *Tourville* (n° 31_2), les car-

lingues sont formées par un quadrillage transversal et longitudinal, en feuilles de tôle fixées entre elles et fixées au bâtiment par des cornières. Ce quadrillage est recouvert de feuilles de tôle de 20^{mm} d'épaisseur, également fixées aux premières par des cornières. L'ensemble constitue un tout parfaitement rigide, sur lequel sont assises les plaques de fondation de la machine, avec interposition d'une couche de bois de teack. Le boulonnage est fait sur la tôle supérieure.

Ajoutons que pour prévenir les mauvais effets de la dilatation des cylindres, l'usine d'*Indret* a fermé, sur le *Colbert*, les espaces vides qui existent entre les cylindres, sur leurs côtés, et a rempli ces espaces de vapeur réchauffante. Il en résulte que toutes les parties des cylindres se dilatent également; pour que cette dilatation soit libre, on a ovalisé dans le sens longitudinal du bâtiment, les trous des pattes des cylindres dans lesquels passent les boulons de fixation sur les carlingues, ainsi que les trous de jonction des bâtis sur les cylindres. De cette façon, les cylindres se dilatent sans entraîner les paliers de l'arbre de couche et sans occasionner des frottements anormaux sur les collets de l'arbre. Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, que les glissières ne subissant pas la dilatation des cylindres, il en résulte un peu de gauche pour les tiges des pistons; mais leur grande longueur leur permet facilement la petite déformation momentanée qui en résulte.

N° 53_4 Graisseurs nouveaux pour cylindres à vapeur et pièces fixes, et pour tête et pied de bielle. — Les nouveaux graisseurs pour cylindres ont pour but d'opérer un graissage continu et automatique, afin d'utiliser le mieux possible la matière lubrifiante et de réduire sa consommation au strict nécessaire. Cette dernière condition est d'autant plus importante à remplir, qu'avec les condenseurs à surface, les matières grasses occasionnent l'usure rapide des chaudières, ou tout au moins forment des dépôts dans ces organes. — Après bien des tâtonnements, on en est arrivé à cette conclusion, que le mieux est de graisser dans le tuyau de vapeur lui-même, avant son débouché dans la boîte des registres. La vapeur éparpille la matière lubrifiante et la transporte partout où elle passe; le graissage des tiroirs et des cylindres se fait ainsi dans les meilleures conditions. — Voici quels sont les principaux appareils usités.

Graisseur Roscoë. — Le corps principal du graisseur Roscoë, est

une partie cylindrique en bronze, A, *fig.* 27, *pl.* VI, destinée à recevoir le suif de graissage, lorsque ce suif est fondu. Le cylindre A est ouvert à sa partie supérieure ; sa base, à angles arrondis, reçoit le raccord taraudé A', qui porte le robinet B et la tubulure 1'; cette dernière aboutit au tuyau de vapeur. Le tuyau 1 emmanché dans le raccord A', prolonge le conduit 1' dans l'intérieur du cylindre A et s'élève jusque vers le sommet de ce cylindre. Sur la base supérieure du cylindre A, se visse la partie conique à double paroi et évasée C, qui est destinée à faire fondre le suif. Cet appareil est formé par deux cônes évasés, en cuivre rouge c, c', dont les grandes bases ont un égal diamètre en c'', tandis que les petites bases ont des diamètres différents. Les parois des deux cônes sont soudées par leur grande base en c''; la paroi du cône c est rivetée par sa petite base sur un racord A'' en bronze, qui se visse sur le cylindre A. La paroi du cône c' est rabattue vers le centre pour être rivetée sur une calotte en cuivre rouge c_1, laquelle est soudée sur le bord inférieur du raccord A''. La capacité a comprise entre les parois des cônes c et c', est mise en communication avec le cylindre A, au moyen des trous 7; ces derniers sont pratiqués sur toute la partie annulaire de la calotte c_1 comprise entre les parois des deux cônes c,c'. — Le récipient C est fermé par un couvercle mobile 6. — Le cylindre A porte à sa partie supérieure, une tubulure munie d'un robinet 4 et surmontée d'un godet C'. On verse dans ce godet, le suif fondu dans la capacité C, par le robinet 5 dont la tubulure traverse les parois c et c' avec joint étanche. Le niveau du suif fondu mis dans le cylindre A, est indiqué par le tube-jauge 2. Enfin, le robinet de purge 3', sert à vider le cylindre A de l'eau qu'il contient. Fig. 27, Pl. VI.

Mode de fonctionnement. — Tous les robinets étant fermés et la capacité C étant remplie de suif, on ouvre le robinet B en mettant sa poignée *b* verticale en haut. La vapeur rentre par la tubulure 1' et le tuyau 1, remplit les capacités A et a, et chauffe l'appareil C en faisant fondre le suif. L'eau provenant de la condensation de la vapeur tombe au fond du cylindre A. Dès qu'il y a dans le récipient C une quantité suffisante de suif fondu, on ferme le robinet B, on ouvre le robinet 4, et peu après le robinet 5. La vapeur contenue dans le cylindre A s'échappe dès qu'on ouvre le robinet 4, et le suif fondu s'écoulant par le robinet 5 dans le godet C', passe dans le cylindre A, et vient former une couche liquide au-dessus de l'eau qui est au fond de ce cylindre. Pour que le graissage puisse s'effectuer, il faut que le niveau du suif s'élève jusqu'à l'armature supérieure du tube-jauge, afin que ce niveau atteigne l'extrémité supérieure du tuyau 1. Cela étant, et les robinets 4 et 5 étant fermés, on ouvre le robinet B. Au premier instant, la vapeur pénètre dans le cylindre A en repoussant, au moins en partie, le suif qui remplissait le tuyau 1 ; mais dès que

l'équilibre de pression est établi, le suif s'écoule et pénètre dans le tuyau de vapeur, à mesure que la condensation de la vapeur élève le niveau de l'eau qui soulève progressivement le suif. Le tuyau 1 a d'ailleurs un diamètre assez grand pour qu'il puisse s'établir deux courants dans son intérieur; l'un descendant pour le suif, l'autre montant pour la vapeur qui vient remplacer celle qui s'est condensée.

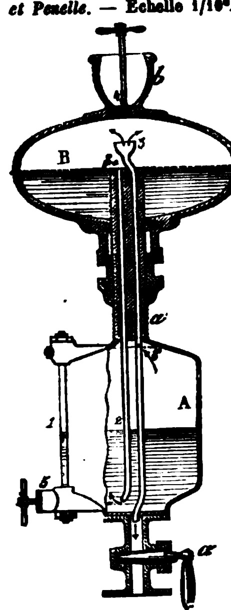
Le tube-jauge 2 n'indique jamais le niveau supérieur du suif, il n'indique que le niveau inférieur ou si on préfère, la surface de contact du suif avec l'eau provenant de la vapeur condensée et qui s'accumule dans le fond du cylindre A. Ce niveau ne doit jamais disparaître du tube et il faut purger de temps à autre, avec le robinet 3, pour l'empêcher de monter jusque dans l'armature supérieure, puis on ajoute une nouvelle quantité de suif fondu. — Il est bon que le cylindre A ait une enveloppe isolante, pour que le suif qu'il contient ne se fige pas; mais il n'en est pas de même du cône *c*, parce qu'il faut qu'il y ait condensation de vapeur pour que le graissage soit continu. Toutefois si l'air ambiant était trop froid, et par suite la condensation et le graissage trop abondants, il y aurait lieu de recouvrir, au moins en partie, le cône *c* d'une enveloppe isolante. — Le plus souvent, l'air qui entoure l'appareil est à une température trop élevée pour que la condensation de la vapeur et le graissage soient suffisants. Dans ce cas, on n'a d'autre ressource que d'appliquer sur le cône *c*, des linges imbibés d'eau froide que l'on renouvelle régulièrement. — Si cette haute température devait être permanente, on pourrait mettre une enveloppe au cône *c*, et faire circuler dans cette enveloppe un courant d'eau dont le débit serait réglé par un robinet, eu égard aux besoins du graissage.

Graisseur Courbebaisse et Penelle. — Ce graisseur, construit par MM. *Mouraille et Cie*, à Toulon, est représenté par la *fig.* 25. Il fonctionne au point de vue de la réglementation du graissage, comme le *Roscoë;* mais il est beaucoup mieux étudié dans ses détails.

Le récipient A, muni d'un tube de niveau 1, est fixé sur le tuyau de vapeur par le robinet *a'*. Ce récipient porte une tubulure taraudée *a* dans l'intérieur de laquelle se trouvent deux conduits. Le conduit 2, partant du sommet de la tubulure *a*, aboutit à la partie inférieure du réservoir; le conduit 3, terminé à la partie supérieure par un godet, aboutit, avec joint étanche, au tuyau du robinet *a'*. Vers le sommet du récipient A, le tube 3 est percé en 3' pour l'écoulement du suif. — Sur la tubulure *a* se monte, au

moyen d'un presse-étoupe, le récipient B, dont la position est variable sur la tubulure *a*. Enfin, le récipient B est surmonté d'un godet *b* fermé par une petite soupape à vis 4.


Fig. 25. *Graisseur Courbebaisse et Pecelle.* — Échelle 1/10e.

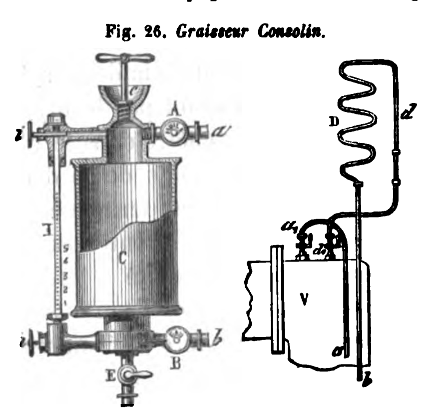


Mode de fonctionnement. — Le robinet *a'* étant fermé, on verse de l'huile par la soupape 4. Cette huile descend par le tuyau 3, passe par le trou 3' et pénètre dans le récipient A. Lorsque le tube-jauge de ce dernier est plein, la soupape 4 est fermée et le robinet *a'* ouvert. La vapeur monte par le tuyau 3, pénètre dans la capacité B et s'y condense. Lorsque le niveau de l'eau atteint le bord supérieur de la tubulure *a*, l'eau descend par le tuyau 2 et vient dans la partie inférieure du réservoir A, où elle élève peu à peu le niveau de l'huile, et l'oblige à se déverser par le trou 3' dans le tuyau 3 qui l'amène au tuyau de vapeur. On peut faire varier le graissage en activant ou en ralentissant la condensation de la vapeur. Pour le premier cas, il faut remonter la capacité B; le bord supérieur de la tubulure *a* ne changeant pas de place, la surface du récipient B libre pour le contact de la vapeur devient plus grande, et la condensation est activée. On obtient une diminution de graissage par la manœuvre inverse. — Lorsque le tube-jauge 1 est plein d'eau, on purge l'appareil en fermant le robinet *a'*, en ouvrant la soupape 4 et la petite soupape de purge 5. — Les deux grands avantages que présente cet appareil sont : la faculté de faire varier le graissage et par suite de pouvoir le régler malgré les variations de la température du milieu ambiant, et de ne jamais mélanger l'huile avec l'eau.

Graisseur Consolin. — M. *Consolin*, chef-mécanicien de la Compagnie générale transatlantique, a imaginé un graisseur continu à huile, pour cylindre, fonctionnant également par l'élévation de l'huile à la surface de l'eau qui provient de la vapeur condensée, mais dans lequel l'eau ne traverse pas l'huile, et la vapeur ne se condense pas dans le vase qui contient cette matière grasse. Ce graisseur est représenté par la *fig.* 26. C'est un simple godet en bronze C muni d'un tube de niveau gradué I, et dans lequel on met de l'huile en enlevant le bouchon à vis *c* qui est ensuite remis en

place. La communication du tube I avec le godet C, peut être établie ou interrompue au moyen de deux soupapes à vis i. — La tubulure supérieure A, munie d'une soupape à volant avec aiguille indicatrice du degré d'ouverture, communique avec le conduit V de vapeur de la machine, par le tuyau a muni du robinet a_1. Ce dernier robinet porte un tuyau de purge à l'atmosphère comme les robinets des indicateurs. — La tubulure inférieure B, également munie d'une soupape à volant avec aiguille indicatrice du degré d'ouverture, communique par le tuyau b avec un serpentin D qui peut être placé en un point quelconque de la machine, même en dehors, pourvu qu'il soit plus élevé que le robinet a_1; le serpentin D communique avec le conduit V de vapeur par le tuyau d et le robinet d_1. — Enfin, à la partie inférieure du godet C se trouve un robinet de purge E.

Fig. 26. *Graisseur Consolin.*



Le graisseur C peut être placé en un point quelconque de la machine et, par suite, bien à portée du mécanicien. Les deux robinets a_1 et d_1 n'ont pas besoin d'être placés côte à côte; la vapeur pour le serpentin, peut être prise, soit directement à la chaudière, soit sur un point quelconque de la longueur du tuyau de vapeur, pourvu que le serpentin ait sa partie inférieure à $0^m,25$ au moins au-dessus du robinet a_1. Les tuyaux du serpentin sont en cuivre rouge de 10 à 12 millimètres de diamètre intérieur. Il convient que le tuyau d soit recouvert d'une enveloppe isolante, afin qu'il ne se produise pas de condensation dans son intérieur, car l'eau retomberait dans le conduit de vapeur V. La partie supérieure du serpentin doit toujours contenir de la vapeur et ce serpentin doit être placé au-dessus de l'appareil de graissage, car le fonctionnement de l'appareil est basé sur les différences de pression exercées par les deux colonnes d'eau et d'huile qui communiquent par leurs extrémités avec une même pression.

Mode de fonctionnement. — Pour mettre le graisseur en fonction, on ferme les soupapes A et B, on ouvre les soupapes i, i de 5 à 6 millimètres, et on ferme la purge E. Après avoir enlevé le bouchon c, on verse de l'huile dans le godet C jusqu'à ce qu'il soit plein, puis on remet ce bouchon en place. Le robinet a_1 est ensuite ouvert pour établir la communication du tuyau a avec l'atmosphère; on ouvre en grand la soupape A, ainsi que le robinet d_1 de prise de vapeur du serpentin. La vapeur s'élève dans le tuyau d, passe dans le serpentin et s'y condense; l'eau tombe dans le tuyau b et le remplit peu à peu. Lorsque le tuyau b est froid, l'appareil est prêt à fonctionner; il suffit d'ouvrir lentement, et d'abord d'une petite quantité, la soupape B. L'eau pénètre dans le godet C, sou-

lève l'huile et lui fait remplir le tuyau a; dès que cette huile paraît à l'orifice de purge du robinet a_1, ce robinet est ouvert au tuyau de vapeur et l'appareil fonctionne. Il n'y a plus qu'à régler la dépense d'eau par la soupape E. On peut s'aider de la soupape A que l'on referme plus ou moins.

La dépense est indiquée par l'élévation du niveau de l'eau dans le tube I. Ce tube est gradué en 50 et 100 grammes, et un index mobile permet de constater à chaque instant la dépense faite. — Lorsque le tube de niveau est plein d'eau, c'est que toute l'huile a été employée. On ferme alors les soupapes A et B, on enlève le bouchon c et on ouvre la purge E. L'eau s'écoule par cette purge et entraîne toutes les impuretés que l'huile peut avoir déposées dans le fond de ce godet. Quand le niveau de l'eau atteint le bas du tube, la purge E est fermée; on refait le plein du godet, puis le bouchon c est remis en place. L'appareil fonctionne de nouveau par l'ouverture aux indications précédentes, des soupapes A et B.

Pendant les arrêts, il suffit de fermer la soupape A; l'appareil cesse immédiatement de fonctionner.

Ce graisseur a été expérimenté pendant plusieurs traversées du Havre à New-York et retour, sur le paquebot transatlantique le *Labrador* de 900 chevaux nominaux, du système Woolf à pilon, à deux paires de cylindres bout à bout, avec condensation par surface (n° 27_3) et fonctionnant à l'allure de 57 tours par minute. La dépense s'est élevée à 100 grammes par heure de marche. Pendant tout le temps des expériences, il n'a pas été employé d'autre système de graissage; l'eau d'alimentation des bâches est restée claire et limpide; les niveaux aux chaudières n'ont pas accusé la présence de matières grasses. Enfin, à la visite des organes intérieurs, les cylindres ont été trouvés en bon état, et l'on n'a pas constaté l'existence de dépôts graisseux dans le condenseur ou dans les chaudières.

Ce système de graisseur nous paraît très-recommandable.

Godet graisseur Robert. — Le godet graisseur *Robert*, *fig.* 28, *pl.* VI, est une pompe foulante au moyen de laquelle on injecte du suif, soit dans le tuyau de vapeur, soit dans le cylindre. La base du godet A est traversée par la boîte à clapets a, au-dessous de laquelle se visse, comme un écrou faisant joint, le raccord a' muni d'un robinet 4. Le cylindre B se visse à son tour sur la partie supérieure de la boîte à clapets a. Ce cylindre est muni d'un piston C ayant une garniture serrée par une bague taraudée sur la tige c : cette dernière traverse un écrou b qui termine le cylindre et sert de limite supérieure à la course du piston. La tige c passe librement dans le couvercle a_1 du godet A, et porte à son extrémité une poignée de manœuvre 6. — Le clapet d'aspiration 1 s'ouvre de bas en haut; c'est le cylindre lui-même qui lui sert de butoir. Le clapet de refoulement 2 s'ouvre de haut en bas; il est appliqué sur son siége par un petit ressort à boudin 2 qui s'appuie sur une rondelle percée 2″; cette dernière est taraudée dans l'orifice et n'est mise en place qu'après le clapet et le ressort. L'extrémité inférieure du piston se prolonge au-dessous de cet organe, pour venir appuyer sur le croisillon du clapet 2 et forcer ce clapet à rester ouvert pendant les derniers instants de la course. Une petite embase 3 de la Fig. 28, Pl. VI.



tige de piston vient porter contre la boîte à clapet et limite la course pour que le ressort 2' ne soit pas soumis à une tension capable de le rompre.

Mode de fonctionnement. — Le godet A étant rempli de suif, on ouvre le robinet 4 et on manœuvre le piston. A chaque refoulement, on introduit dans le cylindre un volume de suif égal à celui qui a été engendré par le piston dans sa course montante, car le suif pénètre naturellement dans le cylindre. Un trou 5, pratiqué dans le couvercle a_1, permet à l'air de s'introduire dans le godet A, à mesure que le niveau du suif diminue, de manière qu'il ne se forme aucun vide dans ce godet, ce qui gênerait le fonctionnement de la pompe ; c'est d'ailleurs par ce trou qu'on introduit, dans le godet A, le suif préalablement fondu et destiné au graissage. — Il faut avoir la précaution de recouvrir ce godet d'une enveloppe isolante, s'il est soumis à un courant d'air frais.

Fig. 29, Pl. VI. **Godet Thièbaut.** — Le cylindre en bronze A, *fig.* 29, *pl.* VI, ouvert à sa base, porte une collerette par l'intermédiaire de laquelle il est boulonné sur un raccord *a* muni d'un robinet B à orifices multiples. Sur la base supérieure du cylindre A, se visse un godet C prolongé intérieurement par un tube en cuivre 1 ; ce dernier s'emmanche sur un orifice du raccord *a* ; il en résulte qu'il n'y a pas de communication directe entre le godet C et le cylindre A. L'orifice du raccord *a* dans lequel s'emmanche le tube 1, correspond à l'orifice longitudinal 1' de la clef du robinet, et ce dernier aboutit à un deuxième orifice vertical 2 du raccord *a*. — Le robinet B porte, côte à côte, deux orifices 3 et 4 percés perpendiculairement à la direction de l'orifice longitudinal 1', et qui correspondent à des orifices semblables du raccord *a*. L'orifice 4 est prolongé dans l'intérieur du cylindre A, par un tube en cuivre rouge qui s'élève jusque vers le sommet de ce cylindre. Les orifices 3 et 4 sont prolongés en dessous du raccord *a*, par des tuyaux en cuivre 3' et 4' qui aboutissent tous les deux et séparément au tuyau de vapeur. Le robinet B porte, vers l'extrémité du côté du petit diamètre de sa clef, un orifice percé dans une direction perpendiculaire à celle des orifices 3 et 4 ; cet orifice est prolongé dans l'intérieur du cylindre A, par un tube 5 dont l'extrémité supérieure s'élève un peu moins haut que celle du tube 4 ; le tube 5 est prolongé en dessous, par le tuyau de purge 5'.

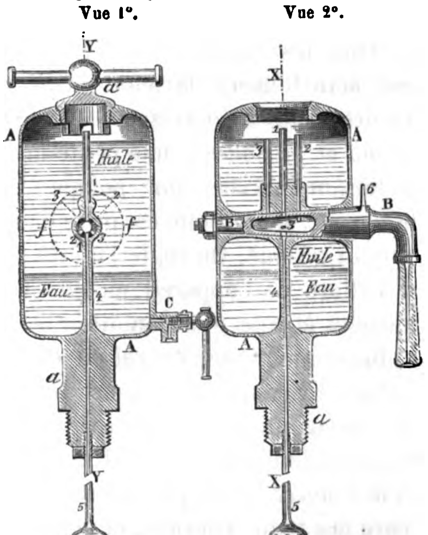
Mode de fonctionnement. — L'appareil graisseur étant vide, on met la poignée 6 de la clef du robinet B verticale, comme sur la figure, et la communication avec le tuyau de vapeur est interceptée. On verse du suif fondu dans le godet C, jusqu'à ce qu'il en sorte par le tuyau 5'. Ce suif pénètre dans le cylindre A par le tube 1 et les orifices 1' et 2.

On place ensuite la poignée du robinet B horizontale ; les orifices 1' et 2 ne sont plus en communication et il en est de même des tuyaux 5 et 5'. Par contre, la communication du graisseur avec le tuyau de vapeur est établie par les orifices 3 et 4. La vapeur arrive par le tuyau 4' et monte par le tube 4 qui la conduit jusqu'au sommet du cylindre A où la pression ne tarde pas à être égale à celle du tuyau de vapeur. Le suif s'écoule alors lentement, par son propre poids, en passant dans l'orifice 3 et le tuyau 3' qui prolonge cet orifice. Le graissage se continue jusqu'à ce que le

cylindre A soit vide. — Il n'existe aucun tube ou robinet-jauge qui indique à quel moment il n'y a plus de suif dans le godet graisseur. On n'a d'ailleurs pas absolument besoin d'attendre que le graisseur soit complétement vide pour remettre une nouvelle quantité de suif fondu. — Il importe de mettre ce graisseur à l'abri des courants d'air froids, afin que le suif ne se fige pas dans le cylindre A, ce qui arriverait surtout vers l'orifice 2 qui serait ainsi obstrué et il deviendrait impossible d'alimenter le graisseur.

Impperméator. — Ce système de graisseur est usité sur un grand nombre de paquebots des Messageries maritimes; il est représenté par la *fig.* 27.

Fig. 27. *Impperméator.* — Échelle 2/15°.
Vue 1°. Vue 2°.



Vue 1°, coupe suivant XX, vue 2°.

Vue 2°, coupe suivant YY, vue 1°.

Le godet cylindrique en bronze A, se visse par la tubulure *a* sur le tuyau de vapeur. Ce godet est fermé par le couvercle taraudé *a'* que l'on manœuvre au moyen d'une traverse. Sur le godet A se trouve un robinet B, dont la clef est creuse, et porte dans le haut trois orifices placés à 45°, et écartés suivant l'axe, comme les tubes d'inégale longueur 1, 2, 3. Les orifices inférieurs qui correspondent aux premiers, sont aussi placés à 45°, mais sur une même circonférence, de manière à déboucher alternativement dans le tube 4; ce dernier est plongé dans le tuyau de vapeur par le tube 5, muni d'une crépine. Un index 6, dont la clef est munie, indique sur un cadran extérieur, quels sont les orifices ouverts. Tous les orifices sont fermés quand la poignée de la clef est horizontale. — La tubulure C, bouchée par une vis, sert à purger le godet graisseur.

Mode de fonctionnement. — Pour garnir le godet, on ferme le robinet, puis après avoir enlevé le couvercle *a'*, on introduit la matière lubrifiante jusqu'à ce que son niveau atteigne le sommet du tube 1. Le couvercle étant ensuite remis en place, on fait tourner le robinet pour ramener l'index en regard du repère 1 du cadran, et le graissage s'effectue. La vapeur monte par le tuyau 5 et les tubes 4 et 1, et établit la pression dans le godet A. Une certaine quantité de vapeur se condense; l'eau vient se loger au-dessous de la matière lubrifiante, dont le niveau inférieur remonte, tandis que le niveau supérieur ne pouvant s'élever plus haut que le sommet du tube 1, l'écoulement a lieu par ce tuyau. — On peut augmenter le graissage en ouvrant la communication avec le tube 2, ou bien encore avec le tube 3. Aux pre-

miers instants, toute la matière lubrifiante, dont le volume est compris entre les sommets des tubes 2 et 1, par exemple, passe par le tube 2, puis le volume libre pour la vapeur est augmenté de la même quantité, et la condensation est plus active. — Il n'existe pas de tube de niveau et ce n'est qu'en fermant le robinet et en dévissant le couvercle *a'* que l'on peut s'assurer de la quantité de matière grasse dépensée. On purge de temps à autre par la tubulure C pour faire évacuer l'eau. — Ce graisseur, comme le *Roscoë*, ne fonctionne que par suite de la condensation de la vapeur, et ne peut être que difficilement réglé si la température du milieu ambiant est un peu élevé.

Graisseur par moteur. — Pour les machines pourvues de condenseurs à surface, l'huile est actuellement la seule matière lubrifiante employée pour les tiroirs et les cylindres. — L'usine d'*Indret* a construit pour le *Friedland* et le *Colbert*, une petite machine à vapeur à un seul cylindre faisant marcher une pompe qui injecte de l'huile dans le tuyau de vapeur. Cette huile est prise dans un réservoir muni d'un tube de niveau gradué. On règle l'allure de la machine de graissage suivant l'allure de l'appareil moteur. Ce système bien exécuté, doit certainement être le plus commode et le plus sûr, en même temps que le plus économique, en raison de la régularité du graissage et de l'extrême division de la matière lubrifiante ; c'est ce qui explique que l'usine d'*Indret* n'ait pas reculé devant une dépense relativement considérable d'installation. Toutefois, les essais faits sur le *Friedland* et le *Colbert* n'ont pas été satisfaisants. Le système était dans le genre des petits chevaux, et la quantité d'huile débitée a toujours été trop abondante. Cela tient sans doute à ce que, eu égard à sa petitesse, l'allure de la machine motrice du graisseur doit toujours être considérable, et que par suite la pompe et ses clapets doivent être d'une petitesse excessive.

Des appareils du même genre ont été construits par l'usine d'*Indret* pour les croiseurs le *Rigault de Genouilly* et le *Duquesne*, ainsi que pour le garde-côtes la *Tempête;* mais avec les modifications suivantes. Le piston de la pompe est cylindrique sur toute sa longueur ; il est ajusté à frottement doux dans son cylindre. Le clapet d'aspiration est supprimé et l'huile s'introduit dans le corps de pompe par de petits trous percés sur son pourtour, à peu près à mi-hauteur du chemin parcouru par l'extrémité du piston. Cette huile est amenée par un tuyau, muni d'un robinet, qui communique avec le réservoir. On règle, par l'ouverture plus ou moins grande du robinet, la quantité d'huile aspirée par la pompe et par suite refoulée

à chaque coup de piston. Le clapet de refoulement se trouve à la base du corps de pompe, et communique par un tuyau, avec la boîte à tiroir du cylindre admetteur.

D'autre part, il n'existe pas d'arbre pour le cylindre moteur, la tige du piston de ce cylindre mène directement le piston de la pompe, et chacun des bouts du cylindre moteur communique, par un tuyau, avec les bouts du cylindre de la machine correspondante. Il résulte de cette disposition, que l'allure du graisseur est toujours en rapport avec celle de la machine, et il n'y a plus qu'à régler la quantité d'huile dépensée en étranglant plus ou moins son passage à travers le robinet d'introduction. Ce système doit donner de très-bons résultats.

Godet graisseur pour petites articulations. — Le godet graisseur B (*fig.* 30, *pl.* VI) est vissé sur la pièce à graisser; il porte un orifice 2 qui est prolongé par le moyen habituel jusqu'à l'articulation à lubrifier. La partie supérieure de cet orifice est taraudée pour recevoir un bouchon C, taillé et ajusté comme un claplet. Ce dernier est prolongé en dessus par une tige *c*, munie d'un croisillon 3 qui sert à visser ou à dévisser ce bouchon. La partie inférieure du bouchon C n'est pas taraudée sur toute sa longueur; elle possède une partie cylindrique sur laquelle est percé l'orifice 1 qui communique avec un orifice percé dans l'axe de la partie taraudée. Le bord supérieur de cet orifice est juste à la hauteur de la base inférieure du cône de portage du bouchon C, et il n'y a pas de jeu sensible entre la partie cylindrique de ce bouchon et le godet B. Lorsque le bouchon C est serré, la partie conique ferme exactement sur le godet B, et quoique ce dernier soit plein d'huile, il n'en arrive point sur l'articulation à graisser. Mais si l'on dévisse un peu le bouchon C, sa partie conique ne porte plus, l'extrémité supérieure de l'orifice 1 est démasquée, et l'huile pénètre dans cet orifice pour tomber dans le tuyau 2 et de là aller, sans aucun obstacle, jusqu'à l'articulation. La quantité d'huile qui s'écoule dans un temps donné est d'autant plus grande qu'on a dévissé davantage le bouchon C, et que par suite la section démasquée de l'orifice 1 est plus grande. La hauteur du niveau de l'huile dans le godet B n'a pas d'influence sensible sur l'écoulement de l'huile; cet écoulement est considérablement augmenté par la vibration de la pièce sur laquelle le godet B est fixé. — Ce n'est que par tâtonnements qu'on arrive à déterminer, pour chaque allure, la quantité dont il convient de tenir dévissé le bouchon C. Fig. 30, Pl. VI.

Graisseur compte-gouttes. — Ce système de graissage pour les articulations est actuellement assez répandu. Il présente l'avantage de concentrer sur deux ou trois points principaux de la machine, tout le système de graissage des articulations. Un grand godet à huile, muni à sa partie inférieure d'autant de tubulures qu'il doit desservir d'articulations, est

placé dans un endroit bien à la portée de la main. A chaque tubulure correspond un petit entonnoir placé au-dessous, et que prolonge le tuyau de graissage aboutissant à la lumière d'une articulation. Cette tubulure est coudée à angle droit, et est fermée par un bouchon vissé, dans le genre de la purge C de la *fig.* 27, mais que l'on manœuvre au moyen d'une tête moletée. On règle par ce bouchon, que l'on dévisse plus ou moins, la quantité d'huile qui s'écoule goutte à goutte dans l'entonnoir placé au-dessous.

Fig. 31, Pl. VI. **Graisseur à lécheur par tête de bielle.** — A l'extrémité d'un bras A (*fig.* 31, *pl.* VI), fixé à un godet graisseur ordinaire à siphon E, est suspendu le réservoir a, qui porte à sa partie inférieure un pinceau a_1. L'huile du godet E s'écoule goutte à goutte dans le réservoir a et vient se suspendre à l'extrémité du pinceau a_1, d'où elle est prise, à chaque tour, par le lécheur D. La position du réservoir a est réglée et maintenue par les vis de pression 1, pour que l'extrémité d du lécheur frotte bien sur toute la longueur du pinceau. — Le lécheur D est représenté à grande échelle en vue 2°; son godet est taraudé sur le bord du coussinet de la tête de bielle B, et porte un orifice 4 qui conduit l'huile jusqu'au tourillon. — La pièce d, qui forme le lécheur proprement dit, a la forme indiquée par la coupe, et porte de chaque côté, des rebords parallèles au plan de rotation et qui empêchent l'huile d'être projetée hors du godet lorsque le mouvement est rapide. Cette pièce est généralement en bronze et maintenue fixe dans le godet au moyen de vis. — Le graisseur à siphon E, qui alimente le réservoir a, est fixé sur une colonnette A' ou sur toute autre pièce fixe de la machine, par les oreilles et les vis 3. Ce godet est muni d'une mèche en laine, dont l'une des extrémités descend dans le tube e, à une certaine profondeur que n'atteint jamais le niveau de l'huile dans le godet. Quand ce dernier est garni, on le ferme par le couvercle à ressort 6. L'extrémité inférieure du godet reçoit un raccord, sur lequel est monté le tuyau e' qui conduit l'huile dans le réservoir a. — Une petite vis 5 est taraudée dans la paroi antérieure du godet E, et se termine par une partie conique qui s'ajuste dans un trou de même forme pratiqué sur la paroi du tube e. En dévissant plus ou moins cette vis 5, on peut augmenter momentanément le graissage, car l'huile pénètre alors directement du godet E dans la partie inférieure du tube e, sans passer par la mèche du siphon. — Chaque tête de bielle porte généralement deux graisseurs semblables, situés de chaque côté sur les parties saillantes du coussinet. Les pattes d'araignée font d'ailleurs communiquer les conduits de graissage 4 de ces deux godets.

Fig. 32, Pl. VI. La *fig.* 32, *pl.* VI, représente une autre disposition de graisseur à lécheur pour tête de bielle, dans laquelle il n'existe qu'un seul graisseur par articulation. Sur la pièce fixe A est suspendu le réservoir a, portant à son extrémité inférieure le pinceau a_1. La position du réservoir a est réglée et maintenue au moyen d'une vis à croisillon 1. — Le godet D du lécheur est fixé, au milieu de la largeur de la tête B de la bielle, par les vis 3; il porte de chaque côté un tuyau C qui aboutit à un orifice pratiqué

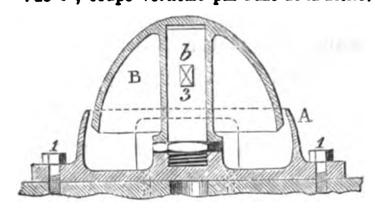
dans le coussinet et qui communique avec les pattes d'araignée. Le lécheur proprement dit *d*, est une pièce en bronze emmanchée par un petit tenon dans la partie inférieure du godet D, et fixée à sa partie supérieure par les petites vis 7. Les bords latéraux de l'entrée du godet D s'élèvent un peu au-dessus du lécheur *d* en embrassant le pinceau a_1; les bords *d'*, situés en avant et en arrière par rapport au sens du mouvement, sont coupés plus bas et sont taillés en sifflet. Cette disposition permet d'arrêter l'huile qui pourrait être projetée en avant, par le contact brusque du lécheur et du pinceau dans les mouvements rapides de rotation. Les ressauts que l'on aperçoit sur le lécheur *d*, et la nervure saillante à l'intérieur du godet D, ont pour but d'empêcher l'huile qui est dans le godet d'être projetée. La pièce d_1, que l'on aperçoit seule dans la vue 1° et en place dans la vue 2°, est le couvercle qu'on met sur le godet graisseur pendant les temps d'arrêt prolongés de la machine. Ce couvercle est maintenu par les vis 7.

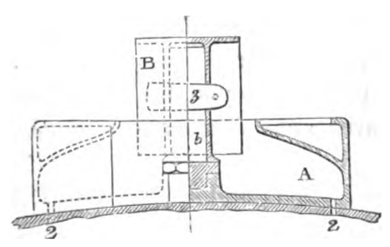
Le godet d'alimentation E est monté sur les bâtis de la machine; ce godet n'a pas de mèches formant siphon; il porte sur le milieu de sa base, un petit clapet *e* que l'on soulève plus ou moins au moyen d'une vis manœuvrée par la poignée 4, pour laisser passer la quantité d'huile nécessaire. Cette huile tombe dans le tuyau *e'*, fixé au godet E par le raccord 5, et est conduite jusque dans le réservoir *a*. L'extrémité du tuyau *e'* est maintenue fixe sur la pièce A par le raccord 2. — Dans l'intérieur du godet E se trouve une trémie cylindrique e_1, qui empêche les saletés de venir obstruer le passage laissé libre par le clapet *e*.

Graisseur à lécheur des Forges et chantiers de la Méditerranée. — Le genre de lécheur, appliqué par les *Forges et chantiers de la Méditerranée* sur les machines du *Tourville* (n° 31_2), est représenté par la *fig.* 28. La boîte en bronze A est fixée sur la tête de bielle par les vis 1, et son intérieur communique avec le tourillon de la manivelle par les lumières de graissage 2, 2. Au centre de la boîte A se visse un prisonnier *b*, sur lequel se fixe, par la clavette goupillée 3, le lécheur B. Le peu d'espace qui existe entre le lécheur B et les rebords recourbés de la boîte A, empêche l'huile qui est descendue dans la boîte A d'être projetée dans les mouvements brusques de la machine. — Comme d'habitude, l'huile est amenée d'un graisseur à siphon dans un godet muni d'un pinceau, contre lequel vient frotter le lécheur.

Fig. 28. *Graisseur à lécheur pour tête et pour pied de bielle.*

Vue 1°, coupe verticale par l'axe de la bielle.





Vue 2°, mi-élévation en mi-coupe perpendiculairement à l'axe de la bielle.

Graisseur à lécheur pour pied de bielle Maseline. — Le réservoir a (*fig.* 33, *pl.* VI), qui porte le pinceau a_1, est suspendu à une pièce fixe A, et sa position est réglée et maintenue par les vis de pression 1. — Le lécheur D est fixé au joug et déverse l'huile, par le tuyau d_1, dans un godet C monté sur le pied B de la bielle; le godet C est assez large et assez profond pour qu'il ne butte jamais contre le tuyau d_1, dans les mouvements d'oscillation du pied de bielle autour de son tourillon. — L'huile est fournie au réservoir a par un godet graisseur ordinaire à siphon. — Le lécheur D contient la pièce d encastrée dans une saillie du fond et maintenue à sa partie supérieure par des petites vis qui ne figurent pas sur le dessin. Les joues d' sont disposées pour empêcher l'huile d'être projetée hors du godet lors des mouvements rapides ou brusques de la machine. Le tuyau d_1 est relié au corps du lécheur par un raccord 2.

Fig. 33, Pl. VI.

Graisseur pour joint à la Cardan. — Les bouts d'arbres A, A' (*fig.* 36, *pl.* VI) sont reliés par un joint à la Cardan portant quatre tourillons. — Un demi-tube C, enroulé autour de l'arbre A', mais sans le toucher, porte quatre tuyaux c, chacun de ces tuyaux aboutissant par un joint fixe sur la face verticale du manchon B, pour de là être continués par des orifices jusqu'aux tourillons. On met l'huile dans le demi-tube C, ce qui est facile, même pendant que l'arbre tourne. La force centrifuge empêche cette huile de tomber et lui facilite, au contraire, son introduction dans les tuyaux c. — Lorsque la ligne d'arbres a une pente assez prononcée sur l'arrière, il est indispensable de placer l'appareil de graissage sur l'avant du joint à graisser.

Fig. 36, Pl. VI.

N° 53_8 Dispositif actuel de graissage et de lubrifiage des machines marines. — Avec l'emploi, devenu général, des condenseurs à surface, le suif est complétement supprimé pour le graissage des tiroirs et des cylindres, et l'huile est le seul corps gras employé dans les machines marines. Toutefois, on a conservé l'usage du suif pour imbiber les tresses des boîtes à étoupe, lors de la confection de la garniture, lorsqu'on n'emploie pas les tresses auto-lubrifiantes (n° 33_8). Nous avons décrit au n° 53_4 les nouveaux appareils en usage, tant pour le graissage que pour le lubrifiage, et que l'on rencontre sur des machines de divers types. Voici, comme résumé des perfectionnements apportés à cette partie du service des machines, le dispositif actuel appliqué aux derniers appareils contruits par l'usine d'*Indret*, à trois paires de cylindres côte à côte points morts à 120° (à hélice), avec condensation par surface (n° 31_1).

Les tiroirs et les cylindres sont graissés à l'huile par le tuyau de vapeur, au moyen d'un graisseur à moteur dont nous avons donné la description au n° 53_4, et qui donne autant de coups de piston que

la machine elle-même. — Pour les articulations, on a disposé dans le faux-pont, une grande caisse à huile qui sert de réservoir commun à tous les graisseurs.. De cette caisse part un tuyau principal sur lequel s'embranchent d'autres tuyaux plus petits qui se divisent eux-mêmes en autant de branches qu'il y a d'articulations à lubrifier. A l'extrémité de chaque branche se trouve une petite boîte à soupape à tige taraudée (n° 53_4), au moyen de laquelle on règle l'écoulement de l'huile. Cette dernière tombe goutte à goutte, pour chaque articulation, dans un petit entonnoir que prolonge un tuyau allant s'emboîter dans la lumière. Les paliers de l'arbre de couche ont deux lumières de graissage, une de chaque côté du bâti. — Pour les pieds et les têtes des bielles, l'huile distribuée par les soupapes est amenée dans des godets à brosse où les lécheurs viennent la prendre. De chaque lécheur partent deux conduits qui aboutissent sur les côtés de l'articulation.

Toutes les soupapes de distribution sont à la portée de la main, près du parquet supérieur, de sorte que le contrôle du graissage est facile, et que l'on peut aisément l'augmenter ou le diminuer à volonté. Le dispositif général dont il s'agit, présente encore l'immense avantage que le transport de l'huile avec les burettes est supprimé; on a par suite supprimé, du même coup, les pertes de matières grasses qui résultaient de ce transport, pertes qui ne laissaient pas que d'être considérables, surtout par gros temps.

N° 54. — 1. Considérations générales sur l'usage des appareils pour transmission des ordres. — 2. Appareils mécaniques pour transmission des ordres. — 3. Appareils pneumatiques et hydrauliques pour transmission des ordres. — 4. Appareils électriques pour transmission des ordres.

N° 54_1 Considérations générales sur l'usage des appareils pour transmission des ordres. — A bord des anciens navires à voiles, l'officier chargé de la manœuvre du bâtiment n'avait guère besoin d'instruments pour transmettre ses ordres ou pour en surveiller l'exécution. Le moteur était sous ses yeux, et l'*axiomètre* suffisait pour indiquer la position exacte du gouvernail, car l'officier se tenait toujours sur la dunette. Avec les bâtiments à vapeur, le moteur est dans la cale, hors de la vue et du contrôle de l'officier, et, comme tout bien pesé, le poste de ce dernier est au centre du navire, sur une passerelle d'où il peut dominer tout l'horizon, la barre à son tour échappe à sa surveillance directe, surtout pendant la nuit, et les ordres à la voix sont d'une transmission très-difficile et souvent impossible. Le même inconvénient se présente d'ailleurs, pour le service des batteries et des soutes à poudre ou à

projectiles ; aussi, a-t-on songé de bonne heure à installer des systèmes de transmission d'ordres.

Quel que soit le principe que l'on mette en application pour un système de transmission d'ordres, les appareils employés doivent toujours être réciproques ; c'est-à-dire doivent permettre à la personne qui a reçu un ordre, de le répéter afin que l'officier soit bien certain que son commandement a été compris. D'autre part, la transmission des ordres doit être rapide, parce que de leur exécution immédiate dépend souvent la sûreté du bâtiment.

On a d'abord employé les tubes acoustiques, en gutta-percha, en plomb et même en fer. Ce mode de transmission, qu'il est bon de conserver comme auxiliaire, n'offre pas les conditions d'instantanéité nécessaires. Il exige d'abord un coup de sifflet d'avertissement, dont il faut attendre la réponse, puis l'articulation lente, émise à la voix, d'un ordre que le défaut de pratique non moins que la longueur et les coudes des tuyaux ainsi que les bruits de la machine, rendent souvent confus et même inintelligible. La réponse transmise dans les mêmes conditions peut seule donner à l'officier la certitude qu'il a été compris, et, en général, il s'écoule beaucoup trop de temps avant que l'ordre donné soit exécuté. A cet inconvénient, s'ajoutent très-souvent, et surtout pour les machines, des accidents qui gênent plus ou moins le fonctionnement du système acoustique, tels que la présence de l'eau dans les conduits, la raréfaction de l'air par suite du voisinage des chaudières, et enfin les trous qui se manifestent dans les tuyaux et principalement aux coudes.

Comme nous l'avons dit, ce système est bon à conserver comme auxiliaire, car il permet de demander à la machine des renseignements que ne peut donner un transmetteur d'ordres, et que l'on ne pourrait obtenir aussi rapidement par toute autre voie.

A côté du système des tubes acoustiques, on a quelquefois installé pour les machines, une sonnette ou un timbre, mû par une transmission mécanique, soit comme avertisseur, soit comme transmetteur d'ordres. Dans le premier cas, le coup de sonnette ou de timbre remplace le sifflet. Dans le second, le nombre des ordres à transmettre par ce moyen est toujours limité à trois : le stop, la marche avant et la marche arrière. — Dans ces derniers temps, on a installé sur des machines très-bruyantes, un sifflet à vapeur remplaçant la sonnette ou le timbre, et au moyen duquel on peut effectuer les trois commandements ci-dessus. Ce mode de transmission d'ordres exige que le tuyautage soit disposé de manière à avoir une purge continue et efficace, afin que le sifflet puisse fonctionner dès que l'on ouvre son robinet. Le timbre comme le sifflet, très-bons pour commander rapidement les manœuvres de stop et de renversement de marche, sont insuffisants pour le service courant qui exige généralement la fixation du nombre de tours de l'appareil moteur.

N° 54, Appareils mécaniques pour transmission des ordres. — Depuis fort longtemps déjà, les appareils mécaniques sont employés pour transmettre les ordres de la passerelle à la machine. On a

d'abord installé des systèmes à transmission par engrenages qui fonctionnent de la manière suivante : un disque horizontal est fixé sur la passerelle et porte, sur un cadran, l'indication des divers ordres à transmettre. Un levier à poignée, dont l'extrémité forme aiguille indicatrice, se promène sur le disque, et agit sur un axe vertical qui, au moyen d'une transmission fait mouvoir l'aiguille d'un deuxième cadran placé dans la machine. — Le mouvement est évidemment réciproque ; un timbre actionné par un talon monté sur l'axe de l'aiguille indicatrice, prévient le mécanicien, qui manœuvre à son tour l'appareil, après avoir lu le commandement, et ramène l'aiguille dans la position que lui a donnée l'officier. — Le seul inconvénient de ce genre de transmission consiste dans l'usure des engrenages et dans les retards qui peuvent en résulter pour l'aiguille conduite. D'autre part, quand la transmission est longue, les axes sont lourds et peuvent d'ailleurs être faussés par la fatigue du bâtiment. Enfin, il est nécessaire, avant tout commandement, de faire passer l'aiguille dans sa position de repos, pour que le timbre soit actionné.

Au lieu d'une transmission par engrenages, on emploie assez souvent un système semblable aux mouvements des sonnettes. Des tiges métalliques rigides actionnent des leviers coudés, en nombre plus ou moins grand, suivant les circuits à effectuer, et aux deux extrémités de la transmission se trouvent les aiguilles indicatrices montées sur les leviers de manœuvre. Les cadrans gradués peuvent être verticaux ou horizontaux et se réduisent à des secteurs, ce qui diminue considérablement, par rapport au système précédent, le nombre de transmissions possibles. Le système est encore réciproque, et un timbre actionné par le dernier levier ou la dernière tringle, sert d'avertissement. Ici encore, il convient, avant de transmettre un ordre, de faire passer l'aiguille par sa position de repos, afin que le timbre avertisseur soit actionné.

Ce dernier système offre tous les avantages de simplicité, d'infaillibilité et de solidité désirables. Il est surtout facile à installer sur les bâtiments de combat, où la machine est placée directement au-dessous du blokaus, car la transmission ne doit faire qu'un très-petit nombre de coudes. Ce système peut être appliqué au gouvernail comme à la machine, et peut d'ailleurs être perfectionné. Ainsi, on peut avoir une installation double, à aiguilles concentriques pour la passerelle, et à aiguille concentrique à l'axiomètre pour la roue du gouvernail. L'une des transmissions étant actionnée par la passerelle, l'autre serait actionnée par la roue du gouvernail elle-même, et la concordance des deux aiguilles indiquerait à l'officier que non-seulement ses ordres sont bien compris, ce qui ne suffit pas dans les cas urgents, mais encore qu'ils sont bien exécutés.

N° 54₄ Appareils pneumatiques et hydrauliques pour transmission des ordres. — Les appareils *pneumatiques* pour transmission d'ordres datent déjà d'une dizaine d'années. On emploie en Angleterre le système *Gisborne* et en France le système *Walker-Sparre*. Voici en quoi consiste ce mode de transmission :

Un tuyau, fermé hermétiquement sur son pourtour, réunit les deux

stations qu'il s'agit de faire communiquer. L'une de ses extrémités est reliée avec l'instrument qui porte l'indication des ordres à transmettre; l'autre extrémité à un indicateur semblable des ordres à exécuter. Un mécanisme permet de comprimer l'air au point de départ; cette pression se transmet dans l'intérieur du tube jusqu'au point d'arrivée, et, agissant comme dans les baromètres anéroïdes, sur la surface flexible d'une chambre à air, communique, par l'intermédiaire de leviers, un mouvevent prévu à une aiguille mobile sur un cadran. Comme les mouvements de l'air dans un tuyau se transmettent avec une très-grande vitesse, l'action de cet appareil peut être considérée comme instantanée à bord des navires. Sous ce rapport, les appareils pneumatiques ne sont pas inférieurs aux appareils électriques. — Le tube dans lequel la pression de l'air se transmet est généralement formé d'un métal très-malléable, composé de zinc, d'étain et de plomb; il est étiré à la filière sans aucune soudure. Grâce à ces deux conditions, il peut suivre sans se rompre toutes les sinuosités qu'on veut lui faire prendre, et les chances d'avaries qui établiraient la communication avec l'air extérieur et, par suite, qui annuleraient le jeu de l'appareil, sont rendues extrêmement faibles. Les réparations sont d'ailleurs faciles, soit au moyen de roustures, soit au moyen de raccords par un tuyau en caoutchouc, après avoir enlevé la partie avariée.

Dans les appareils *Gisborne*, la compression de l'air s'obtient par le mouvement d'une manivelle qui fait avancer une vis dont la tête pousse un piston ou comprime une poche en caoutchouc. La pression ainsi obtenue se transmet au même instant, par le tube conducteur principal et par un tube divisé, à deux récepteurs basés sur le même principe et qui, fonctionnant ainsi à l'unisson, font apparaître instantanément des indications identiques aux yeux de la personne à qui l'ordre s'adresse et à ceux de la personne qui le transmet, ce qui est pour celle-ci un premier contrôle de l'exactitude de la transmission. En même temps, un timbre est mis en mouvement pour appeler l'attention de l'exécuteur, qui répond au moyen d'un sifflet. Pour le gouvernail, le mouvement de la barre peut être reproduit sous les yeux du capitaine par un instrument du même genre. Le fonctionnement de cet appareil repose sur les différences des pressions exercées par l'air dans le même tube, suivant que la poche du manipulateur est plus ou moins comprimée, les parois élastiques des chambres à air de réception ayant des résistances différentes.

Dans l'appareil *Walker-Sparre*, les choses se passent à peu près de même, mais avec des garanties beaucoup plus grandes, car un tube distinct est affecté à la transmission de chaque ordre. Pour l'appareil du gouvernail, il existe trois tubes, correspondant à autant de poches en caoutchouc renfermées dans un cylindre horizontal en cuivre placé sur la passerelle. Ces poches sont l'une à droite, l'autre à gauche du cylindre, et la troisième en bas, contre la paroi plane. Les deux premières sont comprimées à tour de rôle par des disques montés aux extrémités d'une crémaillère horizontale actionnée par un pignon. L'axe de ce dernier fait

saillie à l'extérieur et porte une aiguille indicatrice munie d'une poignée de manœuvre avec cliquet de retenue; cette aiguille est verticale en haut quand l'instrument est au repos. Les indications *bâbord* et *tribord* sont gravées, à droite et à gauche de la position verticale de l'aiguille, sur le cadran que porte le cylindre, et montrent la position qu'il faut donner à cette aiguille pour le commandement à transmettre. La troisième poche est comprimée par un disque mû par un levier horizontal que l'on tire directement, et correspond au commandement de : *en route*. Le récepteur est un cylindre de même diamètre que le manipulateur, également fermé par deux disques. Le disque de face est en verre peint en noir avec guichets polis pour laisser apparaître les commandements à exécuter. Sur le côté du disque se place un fanal destiné à l'éclairage pendant la nuit. Comme d'habitude, la couleur rouge indique bâbord, la couleur verte tribord et la couleur blanche en route. La réception des ordres se fait au moyen de soufffets surmontés de crémaillères, qui agissent sur des pignons dont les axes portent les ordres à exécuter. En s'élevant, ces crémaillères déclanchent un marteau qui frappe sur un timbre avertisseur. — L'appareil transmetteur du timonier à l'officier de quart, consiste en une poire de caoutchouc que le timonier presse une fois pour bâbord et deux fois pour tribord, ce qui se traduit instantanément par un ou deux coups de timbre sur la passerelle. La réponse se fait quelquefois par la manœuvre même de la barre, la tête du gouvernail portant une tige articulée qui, par l'intermédiaire de la vis, comprime l'une ou l'autre des deux poires à air, et actionne un timbre sec ou un timbre à carillon.

On pourrait installer un appareil semblable pour la machine, les commandements se réduisant à *stop*, *en avant*, *en arrière*. Mais comme l'on veut en même temps pouvoir régler la vitesse, le système est plus compliqué. Le manipulateur contient un seul réservoir d'air, que l'on comprime au moyen d'un levier absolument indépendant des indications. Un robinet à orifices multiples règle l'introduction de cet air dans le tuyautage. La position de ce robinet est déterminée par les indications d'une aiguille montée sur son axe et qui se promène sur le cadran gradué. Le timbre avertisseur est indépendant de chacun des ordres à exécuter et a un tuyau particulier.

Dans chacun des appareils ci-dessus, un robinet est installé pour renouveler l'air dans les bouteilles, dans le cas où, à la suite d'une excessive chaleur à laquelle les tubes se trouveraient exposés, l'air contenu dans ces tubes serait raréfié.

L'appareil pour la barre paraît très-sûr; celui de la machine est beaucoup plus délicat et exige une grande perfection d'ajustage du robinet, et surtout une répartition très-judicieuse des trous de communication avec les tubes, afin que l'air ne puisse jamais être comprimé en même temps dans deux conduits différents. De plus, comme il n'existe qu'un seul réservoir d'air pour tous les ordres à transmettre et même pour le timbre, il faut donner à la lentille comprimée le temps de revenir au repos avant de transmettre un ordre, après avoir agi sur le timbre.

Appareils hydrauliques. — Les tubes acoustiques et les appareils pneumatiques sont toujours influencés par la haute température qui règne dans les chambres des machines, à cause des dilatations qui en résultent, et l'on a songé à substituer l'eau à l'air comme moteur. L'appareil se compose, en dernière analyse, de deux manomètres métalliques, placés l'un sur la passerelle, l'autre dans la machine, et mis en communication par un tube métallique hermétiquement clos. Ces manomètres actionnent des aiguilles qui se promènent sur les indications des ordres à transmettre et à exécuter marquées sur les cadrans. Une petite pompe hydraulique, placée à côté du manomètre de la passerelle, sert à refouler de l'eau dans le tuyau commun, et les deux aiguilles sont mises presque instantanément en mouvement. Il va de soi que l'on tient compte, dans la graduation des cadrans, de la colonne d'eau qui pèse sur le manomètre de la machine. Un robinet de dégagement sert à faire tomber la pression, et l'eau fait retour au réservoir où puise la pompe.

Ainsi disposé, cet instrument ne permet pas de recevoir la réponse de l'ordre transmis, et il exige, en outre, un coup de sifflet ou de timbre avertisseur, dont la manœuvre est complétement indépendante de la sienne; d'autre part, la manœuvre de la pompe ne permet pas de placer exactement l'aiguille au point que l'on désire. Cet appareil est, par suite, encore imparfait, mais il est susceptible de perfectionnements qui le rendent très-utile. Ainsi, la pression peut être exercée par un piston dont la tige serait manœuvrée par une vis et une petite poignée; d'autre part, il faut que le système soit double : l'un pour être manœuvré de la machine et l'autre de la passerelle. On pourrait joindre à chacun de ces appareils un timbre avertisseur, fonctionnant à la pression qui correspond à la première indication du cadran; mais il serait mieux de laisser ce timbre indépendant, de manière à pouvoir toujours conserver au cadran le dernier ordre transmis, et surtout pour faciliter la rapidité du passage d'un commandement à un autre. Le système ainsi disposé permettrait non-seulement d'effectuer les commandements relatifs au sens de la marche, mais encore de commander le nombre de tours que doit faire la machine.

N° 54. Appareils électriques pour transmission des ordres. — Ces appareils fonctionnent généralement bien à terre, mais il n'en est pas toujours de même sur les bâtiments où les conditions d'installation sont beaucoup moins favorables. Toutefois, ils sont employés avec succès sur un grand nombre de bâtiments anglais de guerre et de commerce. Ces appareils sont généralement du type *Gisborne;* ils reposent sur un principe simple et bien connu. Un bouton, que presse la personne qui veut transmettre un ordre, ou bien une aiguille mobile autour d'un point fixe et dont la pointe est amenée sur un index métallique correspondant à cet ordre, permet de lancer à volonté le courant d'une pile dans un fil conducteur dont l'autre extrémité s'enroule sur les bobines d'un électro-aimant.

La force magnétique, ainsi développée temporairement, attire l'armature en fer doux d'un levier coudé, et fait aussitôt relever l'écran par

lequel était masqué l'ordre qu'il s'agit de faire apparaître aux yeux de la personne chargée de l'exécuter. Les vibrations d'un timbre bruyant éveillent en même temps son attention. Une pédale, ou un levier, ou un bouton placé à sa portée, lui permet de faire connaître de la même manière que l'ordre est compris et va être exécuté. — Cette transmission est aussi instantanée que possible; elle est applicable au gouvernail comme à la machine, aux batteries comme aux soutes. L'appareil étant double et chaque ordre étant muni de son électro-aimant, il n'y a pas de confusion possible, pourvu qu'il n'y ait pas d'erreur commise par le manipulateur, De plus, à moins de cessation de fonctionnement de la pile, ce qui est le seul accident à craindre, l'ordre transmis reste en évidence autant de temps que la personne qui l'a envoyé le juge nécessaire.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

DU TOME SECOND.

CHAPITRE II.

PRINCIPAUX TYPES D'APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION CONSTRUITS DEPUIS 1862.

Chap. II, § 1er. — Considérations générales sur les améliorations apportées aux machines marines depuis 1862.

Chap. II, § 2. — Description des types récents de machines ordinaires et Woolf a roues.

Chap. II, § 3. — Description des types récents de machines Woolf ou Compound a hélice.

CHAP. II, § 4. — MACHINES POUR CANOTS A VAPEUR.

CHAPITRE III.

DISPOSITIONS RÉCENTES SE RENCONTRANT DANS LES ORGANES ET PIÈCES DIVERSES DES MACHINES MARINES.

CHAP. III, § 1er. — CYLINDRES A VAPEUR ET ACCESSOIRES, DISTRIBUTEURS ET MISES EN MARCHES. DÉTENTES VARIABLES.

CHAP. III, § 2. — THÉORIE ET DESCRIPTION DES RÉGULATEURS EN GÉNÉRAL ET DES RÉGULATEURS MARINS EN PARTICULIER.

CHAP. III, § 3. — THÉORIE GÉNÉRALE DE LA CONDENSATION. — CONDENSEUR-ÉJECTEUR. CONDENSEURS A SURFACE. — POMPES A AIR ET POMPES DE CIRCULATION. — APPAREILS DISTILLATOIRES. — CUISINES DE BORD.

CHAP. III, § 4. — ORGANES DE TRANSMISSION DE MOUVEMENT. — GRAISSEURS. — APPAREILS POUR TRANSMISSION DES ORDRES.

INDEX DES PRINCIPAUX TABLEAUX

QUI SE TROUVENT DANS LE TOME II.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 23.

Paris. — Imprimerie Arnous de Rivière, rue Racine, 26.

